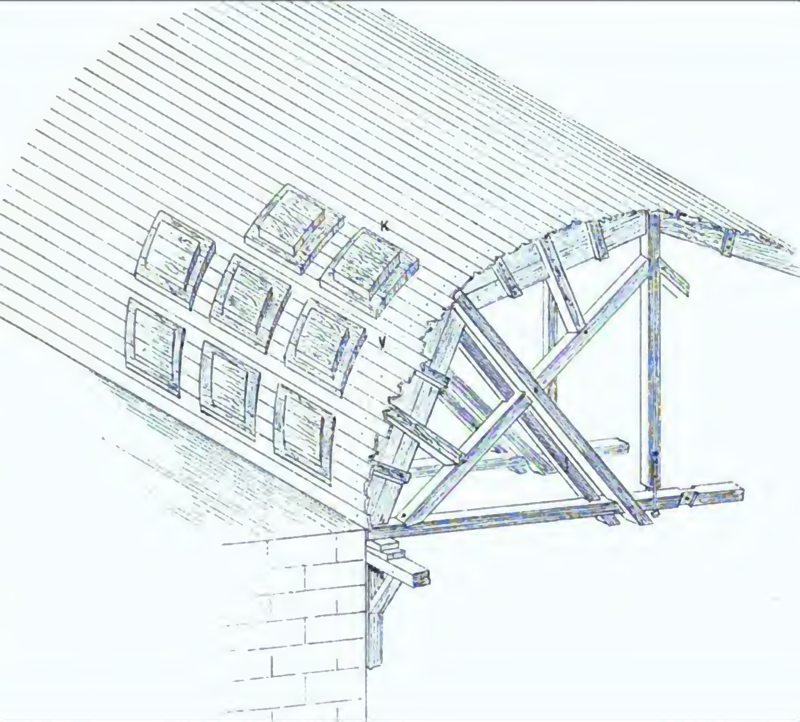


Raumbegrenzende Konstruktionen

Gefamtanordnung und Gliederung des »Handbuches der Architektur« (zugleich Verzeichnis der bereits erfchienenen Bände, bezw. Hefte) find am Schluffe des vorliegenden Heftes zu finden.

Jeder Band, bezw. jeder Halb-Band und jedes Heft des »Handbuches der Architektur« bildet auch ein für fich abgefchloffenes Buch und ift einzeln käuflich.

HANDBUCH

DER

ARCHITEKTUR.

Unter Mitwirkung von

Oberbaudirektor
Profeffor Dr. **Jofef Durm**
in Karlsruhe

und

Geh. Regierungs- u. Baurat
Profeffor **Hermann Ende**
in Berlin

herausgegeben von

Geheimer Baurat
Profeffor Dr. **Eduard Schmitt**
in Darmftadt.

Dritter Teil:

DIE HOCHBAUKONSTRUKTIONEN.

2. Band:

Raumbegrenzende Konftruktionen.

Heft 3, b:

Gewölbte Decken (Gewölbe).
Verglafte Decken und Deckenlichter.

ZWEITE AUFLAGE.

ARNOLD BERGSTRÄSSER VERLAGSBUCHHANDLUNG (A. KRÖNER).
STUTTGART 1901.

DIE HOCHBAUKONSTRUKTIONEN.

DES

HANDBUCHES DER ARCHITEKTUR

DRITTER TEIL.

2. Band:

Raumbegrenzende Konftruktionen.

Heft 3, b:

Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von **Carl Körner,**

Geh. Hofrat und Profeffor an der technifchen Hochfchule zu Braunfchweig.

Verglafte Decken und Deckenlichter.

Von

Adolf Schacht,
Eifenbahn-Bau- und Betriebs-Infpektor
zu Celle,

und

Dr. **Eduard Schmitt,**
Geh. Baurat und Profeffor an der technifchen
Hochfchule zu Darmftadt.

ZWEITE AUFLAGE.

Mit 429 in den Text eingedruckten Abbildungen, fowie 11 in den Text eingehefteten Tafeln.

STUTTGART 1901.
ARNOLD BERGSTRÄSSER VERLAGSBUCHHANDLUNG
A. KRÖNER.

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Handbuch der Architektur.

III. Teil.

Hochbaukonftruktionen.

2. Band, Heft 3, b.

(Zweite Auflage.)

INHALTSVERZEICHNIS.

Raumbegrenzende Konftruktionen.

2. Abfchnitt.

Nach oben begrenzende Konftruktionen.

Seite

II. Gewölbte Decken (Gewölbe) . . . 1
10. Kap. Allgemeines . . . 1
Litteratur über »Gewölbe im allgemeinen« . . . 5
11. Kap. Tonnen- oder Kufengewölbe . . . 6
a) Geftaltung der Tonnengewölbe . . . 6
b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager . . . 41
c) Ausführung der Tonnengewölbe . . . 77
12. Kap. Kappengewölbe (Preufsifche Kappen) . . . 122
a) Geftaltung der Kappengewölbe . . . 122
b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager . . . 123
c) Ausführung der Kappengewölbe . . . 147
13. Kap. Kloftergewölbe und Muldengewölbe . . . 163
a) Kloftergewölbe . . . 163
1) Geftaltung der Kloftergewölbe . . . 163
2) Stärke der Kloftergewölbe und ihrer Widerlager . . . 179
3) Ausführung der Kloftergewölbe . . . 181
b) Muldengewölbe . . . 191
14. Kap. Spiegelgewölbe . . . 192
a) Geftaltung der Spiegelgewölbe . . . 192
b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager . . . 196
c) Ausführung der Spiegelgewölbe . . . 196
15. Kap. Kreuzgewölbe im allgemeinen . . . 199
16. Kap. Kreuzgewölbe im befonderen . . . 211
a) Cylindrifche Kreuzgewölbe . . . 211
1) Geftaltung der cylindrifchen Kreuzgewölbe . . . 211
2) Stärke der cylindrifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager . . . 221
α) Stabilität der Gewölbkappen . . . 222
β) Stärke der Gratbogen . . . 235
γ) Stärke der Widerlager . . . 238
δ) Empirifche Regeln für die Gewölbftärke . . . 241
ε) Verankerungen . . . 244
3) Ausführung der cylindrifchen Kreuzgewölbe . . . 245
b) Gotifche Kreuzgewölbe . . . 261
1) Einfache gotifche Kreuzgewölbe . . . 263
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen . . . 263
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen . . . 266
γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer als die Scheitel der Randbogen gelegen . . . 269

Seite

2) Mehrteilige gotifche Kreuzgewölbe (Stern- und Netzgewölbe) 271
3) Gotifche Kreuzkappengewölbe 281
4) Steigende gotifche Kreuzgewölbe 282
5) Widerlager der gotifchen Kreuzgewölbe 286
6) Rippen der gotifchen Kreuzgewölbe 294
7) Einwölbung der Kappen 295
α) Bufige Kappen ohne Stelzung 295
β) Bufige Kappen mit Stelzung 311
8) Stärke der gotifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager 320
α) Stabilität der Gewölbekappen 320
β) Stabilität der Gewölberippen 336
γ) Stabilität der Widerlager 341
9) Ausführung der gotifchen Kreuzgewölbe 349
17. Kap. Fächer- oder Trichtergewölbe 355
a) Geftaltung der Fächergewölbe 355
b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager 360
c) Ausführung der Fächergewölbe 361
18. Kap. Kuppelgewölbe 364
a) Geftaltung der Kuppelgewölbe 364
b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager 376
c) Ausführung der Kuppelgewölbe 386
d) Nifchen- oder Chorgewölbe 392
19. Kap. Böhmifche Kappengewölbe 393
a) Geftaltung der böhmifchen Kappengewölbe 393
α) Sämtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene 394
β) Die Kämpferpunkte liegen in verfchiedenen wagrechten Ebenen 401
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer fchiefen Ebene 403
b) Stärke der böhmifchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager 405
c) Ausführung der böhmifchen Kappengewölbe 406
20. Kap. Gufsgewölbe und hängende Gewölbe 411
C. Verglafte Decken und Deckenlichter 416
21. Kap. Begehbare Deckenlichter 417
22. Kap. Nicht begehbare Deckenlichter und verglafte Decken 426
a) Allgemeines 426
b) In tragende Deckenkonftruktionen eingefügte Deckenlichter 433
c) An Dachftühlen hängende oder in anderer Weife damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken 441
d) Verglafte Decken und Deckenlichter mit befonderen Tragkonftruktionen 449
Litteratur über »Verglafte Decken und Deckenlichter« 456
Berichtigungen 456

Verzeichnis

der in den Text eingehefteten Tafeln.

Zu Seite 58: Stabilitätsunterfuchung eines fymmetrifchen Tonnengewölbes und feines Widerlagers.
» » 158: Anlage von Kappengewölben zwifchen Gurtbogen.
» » 223: Stabilitätsunterfuchung eines cylindrifchen Kreuzgewölbes über quadratifchem Grundrifs.
» » 227: Stabilitätsunterfuchung eines cylindrifchen Kreuzgewölbes über rechteckigem Grundrifs.
» » 230: Stabilitätsunterfuchung eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Schwalbenfchwanzverband.
» » 236: Stabilitätsunterfuchung des Gratbogens eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.
» » 238: Stabilitätsunterfuchung des Widerlagers für ein cylindrifches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.
» » 306: Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.
» » 319: Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.
» » 342: Statifche Unterfuchung des Widerlagers mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.
» » 346: Statifche Unterfuchung eines Strebebogens unter Berückfichtigung des Winddruckes.

B. Gewölbte Decken.

(Gewölbe.)

Von Carl Körner.

10. Kapitel.

Allgemeines.

Ein Gewölbe iſt ein Syſtem von einzelnen, beſonders geſtalteten und nach beſtimmten Geſetzen vereinigten Körpern, welche ſich in ihren Seitenflächen aneinander fügen und in ihrer Geſamtheit ſich gegen feſte, ſelbſtändig auftretende Stützkörper in der Weiſe ſetzen, daſs ſie den Raum zwiſchen dieſen Stützkörpern nicht allein freiſchwebend überdecken, ſondern je nach Umſtänden auch fähig ſind, noch fremde Laſten mit Sicherheit zu tragen. 1. Erklärung.

Im allgemeinen iſt vorwiegend Steinmaterial, natürliches oder künſtliches, für die Gewölbkörper in Betracht zu ziehen, ſo daſs ein Gewölbe als ein ſog. maſſives Bauwerk anzuſehen iſt.

Hiernach heiſsen gewölbte Decken auch **Steindecken** oder **maſſive Decken**.

Die Kunſt der Herrichtung von Gewölben, wie ſolche ſchon in grauer Vorzeit bei den verſchiedenſten Anlagen, wie bei Kanälen, Thoren, Brücken oder bei den Deckenbildungen von Grabkapellen, Schatzhäuſern, Thermen, Tempeln u. ſ. w. auftreten, muſs als eine ſehr alte gelten, wie die neueren Forſchungen auf kunſtgeſchichtlichem Gebiete ergeben haben und worüber bereits in Teil II, Band 1 dieſes »Handbuches« das Nähere mitgeteilt worden iſt. 2. Geſchichtliches.

Die eigentliche höhere Entwickelung des Gewölbebaues iſt jedoch den Römern zuzuſchreiben. Sie waren fähig, unter Verwendung des ihnen reichlich zu Gebote ſtehenden, ausgezeichneten Baumaterials und unter geſchickter Verwertung der ihnen im Bau von Gewölben überkommenen Kenntniſſe die engeren Grenzen der Bildung derartiger Konſtruktionen zu überſchreiten und Gewölbebauten zu ſchaffen, welche noch heute ſelbſt in ihren Reſten Bewunderung erregen und den Anſpruch erheben, zu den Groſskonſtruktionen gezählt zu werden. Weiſen dieſelben auch eine groſse Anhäufung von Maſſen auf, die untereinander verkittet ſind, ſo iſt die Kühnheit, mit welcher die Ausführung derſelben vorgenommen wurde, doch zugleich auch wieder ein lebendiger Anſtoſs zu neuerem Schaffen geworden.

Die byzantiniſche Baukunſt hat ſich die Kunſt der Römer zu Nutzen gemacht und ihren Gewölbebauten namentlich durch geringere Maſſenbildung einen ſchwungvollen Ausdruck zu geben gewuſst und ſomit einen weiteren Fortſchritt im Gewölbebau veranlaſst, welcher ſich denn auch ſpäter in der romaniſchen Baukunſt wiederum mit zur Geltung gebracht hat. Blieb in der romaniſchen Baukunſt der Gewölbebau infolge der Grundriſsanordnung ihrer Baſilika mit vorwiegend quadratiſcher Teilung in verhältnismäſsig einfacher Ausbildung, ſo konnte beim Verlaſſen dieſer Grundriſsform ein weiterer Fortſchritt in der Anlage und Ausführung der gewölbten Decke nicht unterbleiben. Das Zuſammenfügen von quadratiſchen mit rechteckigen Grundriſsteilungen der chriſtlichen Kirchen beſeitigte die beſchränktere Anordnung des Grundriſſes der romaniſchen Baſilika und forderte den denkenden Baumeiſter des Mittelalters auf, ein beſonderes Gewölbeſyſtem zu erſinnen, welches in zweckmäſsiger, ſicherer, leichter und ſchöner Weiſe ſein reich gegliedertes Bauwerk im Inneren überdeckte. Den Baumeiſtern der gotiſchen Baukunſt iſt es gelungen, ein derartiges Wölbſyſtem zu ſchaffen. Erhabene Meiſterwerke ſind in den Domen dieſer Bauzeit als ſtrahlende Vorbilder der Wölbkunſt geboten; ſtets und ſtändig werden ſie Bewunderung und Nachahmung finden!

Von dieſem Zeitabſchnitt an haben neue Wölbſyſteme für Groſskonſtruktionen ſich nicht mehr gezeigt. Für Decken als Groſskonſtruktionen, namentlich für Profanbauten, iſt das Steinmaterial durch das Eiſen zurückgedrängt, und bei den mit gewaltigen Abmeſſungen behafteten Raumüberdeckungen hat dieſes Material die Führung übernehmen müſſen.

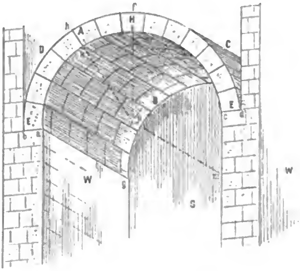
Allein für Kirchen- und Profanbauten von kleinerem oder gröſserem Umfange werden gewölbte Decken nach wie vor in geeigneter Weiſe in Anwendung gebracht.

3. Beſtandteile und Bezeichnungen.

Die Beſtandteile der »gewölbten Decke« oder kurz des »Gewölbes« haben Benennungen erhalten, welche im folgenden nach Fig. 1 zuſammengeſtellt ſind.

1) Der **Gewölbkörper** oder das **eigentliche Gewölbe** *abcd* iſt die Geſamtheit der die Decke des Raumes bildenden einzelnen Steine.

Fig. 1.



2) **Widerlagsmauern** oder **Widerlager** *W* ſind die das Gewölbe ſtützenden Mauerkörper; ſie haben dem durch den Gewölbkörper entſtehenden Gewölbſchube ſicheren Widerſtand zu leiſten.

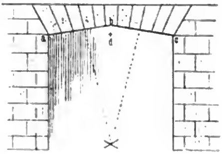
3) **Stirnmauern** oder **Schildmauern** *S* ſind ſeitliche Begrenzungsmauern eines mit einem Gewölbe überdeckten Raumes, welche nicht als Widerlager auftreten. Sind ſolche Schildmauern nicht vorhanden, ſo nennt man das Gewölbe ſelbſt ein **offenes Gewölbe**.

4) **Laibung** *B* iſt die innere oder untere Gewölbfläche.

5) **Rücken** *C* iſt die äuſsere oder obere Gewölbfläche.

6) **Gewölblinie**, **Bogenlinie** oder **Gewölbbogen** iſt eine geſetzmäſsig gebildete krumme Linie *aec*, bezw. *bfd*, welche die Gewölbflächen *B*, bezw. *C* erzeugt. Iſt dieſe Gewölblinie eine gerade Linie, ſo entſteht ein **ſcheitrechtes** oder **gerades Gewölbe** (ſcheitrechter Bogen, Sturz); iſt dieſelbe eine gerade gebrochene Linie *abc* (Fig. 2), ſo erhält man das **ſcheitrechte Gewölbe mit Stich**; die Höhe des Stiches iſt *db*.

Fig. 2.



7) **Leitlinie** *pm* iſt eine gerade Linie oder eine geſetzmäſsig gebildete krumme Linie, an welcher die Ebene der Gewölblinie der beabſichtigten Erzeugung der Gewölbfläche gemäſs fortbewegt, bezw. um welche jene Ebene gedreht werden kann. Die Leitlinie wird zur **Gewölbachſe**, wenn bei jeder neuen Stellung der Ebene der Gewölblinie die einander entſprechenden Punkte der Bogenlinie auch ſtets den ihnen zugewieſenen entſprechenden Abſtand von dieſer Leitlinie bekommen. Die Länge der Gewölbachſe beſtimmt die **Länge des Gewölbes**. In einzelnen Fällen kann auch eine gerade Linie die Erzeugende und eine geſetzmäſsig gebildete krumme Linie die Leitlinie der Gewölbflächen werden.

8) Kämpferlinien *a g* ſind die Schnittlinien der inneren Gewölbfläche mit der Widerlagsfläche. Die Elemente der Kämpferlinie ſind die Kämpferpunkte.

9) Scheitelpunkt (*e* in Fig. 1, *b* in Fig. 2) iſt derjenige Punkt der inneren Gewölblinie, für welchen eine höchſte Tangente parallel zur geraden Verbindungslinie der Kämpferpunkte feſtgelegt werden kann.

10) Scheitellinie iſt diejenige Linie, deren Elemente die ſämtlichen Scheitelpunkte der inneren Gewölbfläche ſind.

11) Gewölbanfang oder Gewölbfuſs *a b*, bezw. *c d* (Fig. 1) iſt der untere, unmittelbar auf dem Widerlager beginnende Gewölbteil.

12) Widerlagsfläche oder Gewölbeſohle iſt diejenige Fläche, deren Elemente durch die Geſamtheit des Gewölbefuſses gebildet ſind.

13) Spannweite oder Sprengweite *a c* iſt die Entfernung der Kämpferpunkte in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie.

14) Pfeilhöhe oder Stichhöhe *p e* iſt die gröſste, lotrecht genommene Ordinate der erzeugenden Bogenlinie, von der Verbindungslinie der in ihrer Ebene gelegenen Kämpferpunkte aus gemeſſen.

15) Pfeil- oder Stichverhältnis iſt die Zahl, entſtanden aus der Maſszahl der Pfeilhöhe, geteilt durch die Maſszahl der Spannweite.

16) Haupt des Gewölbes oder Gewölbeſtirn *a b f e d c* iſt die Fläche zwiſchen der inneren und äuſseren Bogenlinie in der Ebene der Erzeugenden (Vor- und Hinterhaupt).

17) Gewölbſteine *A* ſind die beſonders, meiſtens keilförmig geſtalteten und aneinander gefügten Steinkörper. Beſonders hervorzuhebende Gewölbſteine ſind die Anfänger oder Kämpferſteine *E*, welche unmittelbar auf dem Widerlager ruhen, und die Schluſsſteine *H*, welche die Scheitellinie enthalten.

18) Gewölbfugen *h k* ſind die Trennungen zwiſchen den einzelnen Wölbſteinen in der Ebene der erzeugenden Bogenlinie; ſie liefern die Teilung eines Gewölbes.

Flächen, welche das Gewölbe ſchneiden, indem dieſelben alle Fugen von der Beſchaffenheit *h k* enthalten, heiſsen Lagerfugenflächen, ihre Schnittlinien mit der Laibung, bezw. mit dem Rücken des Gewölbes heiſsen Lagerfugenkanten oder kurzweg Lagerfugen. Dagegen nennt man Stoſsfugenflächen diejenigen Schnittflächen, welche durch die Ebenen der erzeugenden Bogenlinie beim Durchſchnitt mit dem Gewölbkörper entſtehen. Die Schnittlinien dieſer Flächen mit der inneren, bezw. äuſseren Gewölbfläche heiſsen Stoſsfugenkanten oder kurzweg Stoſsfugen. In einem Gewölbe darf niemals eine ſog. Schluſsfuge, d. h. eine Fuge, welche die Scheitelpunkte enthalten würde, vorhanden ſein.

Die Lagerfugenflächen begrenzen die Wölbſchichten oder Wölbſcharen. Die Stoſsfugenflächen teilen die einzelnen Wölbſchichten in Gewölbſteine ab. Die Kämpferſchicht enthält ſämtliche Kämpferſteine; die Schluſsſteinſchicht wird aus ſämtlichen Schluſsſteinen gebildet.

19) Gewölbſtärke oder Gewölbdicke wird ausgedrückt durch das Längenmaſs der Gewölbfugen, im Scheitel durch das Höhenmaſs in der Mitte des Schluſsſteines.

20) Gewölbeſchenkel heiſsen die rechts und links von einer durch die Scheitellinie gelegten lotrechten Ebene befindlichen Gewölbſtücke.

21) Gewölbzwickel *D* nennt man den Zwiſchenraum vom Gewölbrücken bis zu der über der Kämpferlinie aufgeführten Widerlagsmauer.

Alle Bezeichnungen, welche hier für ein Gewölbe gegeben find, werden auch für die fog. Mauerbogen, Thür- oder Fenfterbogen (fiehe hierüber Teil III, Band 2, Heft 1 [Abt. III, Abfchn. 1, B: Wandöffnungen] diefes »Handbuches« unter b), fowie für die fog. Strebebogen beibehalten, d. h. für Gewölbe von geringer Längenabmeffung, von denen erftere zum oberen Abfchlufs von Maueröffnungen, letztere zur befonderen Abfteifung von Gewölbwiderlagern dienen.

4. Einteilung der gewölbten Decken.

Im Hochbauwefen werden Gewölbe vorzugsweife zum oberen Abfchlufs von feitlich durch Mauerwerk begrenzten Räumen, alfo zur Herftellung von raumabfchliefsenden Decken in Anwendung gebracht. Geftaltung des Grundriffes, Raumanordnung und Raumteilung fetzen fich mit der Deckenbildung der Räume jederzeit in ein Abhängigkeitsverhältnis.

Bei der Mannigfaltigkeit in der Durchbildung des Grundriffes; bei der Verfchiedenheit zwifchen den Mauermaffen, welche als fefte, dem Gewölbfchube widerftehende Stützkörper bei der Raumanordnung in Frage kommen, und den Mauerkörpern, welche nur als feitliche Begrenzungen des Raumes auftreten; bei der eingehenden Berückfichtigung der befonderen Eigenfchaften des zu Gebote ftehenden Mauer- und Wölbmaterials; bei der Abwägung der Belaftung der zu fchaffenden Baukörper — haben fich für die Formgebung und Konftruktion der den Räumen zuzuweifenden »gewölbten Decken« zahlreiche Gefichtspunkte und Forderungen ergeben, deren vollftändige, richtige und zweckmäfsige Beachtung und Erfüllung die hervorragendfte Aufgabe im Bau der gewölbten Decken ift.

Die gewölbten Decken im Hochbauwefen zeigen im Vergleich mit den meiftens offenen Gewölben des Ingenieurbauwefens einen weit gröfseren Reichtum an Form und an Gliederung der Anlage, fo dafs die eigentliche Gewölbetechnik vorzugsweife dem Gebiete des Hochbauwefens angehört.

Um bei der gefchilderten Vielfeitigkeit der Anordnung gewölbter Decken die Konftruktion derfelben in überfichtlicher Weife behandeln zu können, teilt man die für folche Decken mafsgebend werdenden Gewölbe in befondere Gruppen ein. So vielfach nun die Zahl diefer Gruppen gebildet werden könnte, wenn auch die Eigenfchaften von Gewölbformen mit berückfichtigt werden follten, welche mehr in zweiter Linie Beachtung verdienen, fo ift es doch möglich, die Gruppenzahl der in den Vordergrund tretenden Gewölbe wefentlich einzufchränken.

Im grofsen genommen find zwei Hauptgruppen der Gewölbe zu unterfcheiden: cylindrifche und fphärifche Gewölbe.

Bei den cylindrifchen Gewölben, für welche die Bezeichnung »cylindrifch« im weiteren Sinne des Wortes zu nehmen ift, gehören die Laibungsflächen der Gewölbe im allgemeinen Cylinderflächen an, welche entftanden find durch Fortbewegen einer ebenen, gefetzmäfsig gebildeten krummen Linie als Erzeugende an einer geraden oder einer ebenen, bezw. räumlichen krummen Linie als Leitlinie, oder umgekehrt durch Fortbewegen einer ge-

Fig. 3.

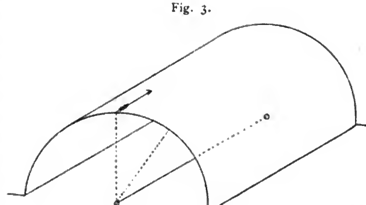
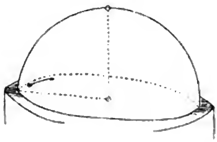


Fig. 4.



raden oder einer krummen Linie als Erzeugende an einer ebenen krummen Linie als Leitlinie.

Bei den fphärifchen Gewölben entfteht die Laibungsfläche durch Drehen einer ebenen, gefetzmäfsig gebildeten krummen Linie um eine fefte gerade Linie.

In der That find aus dem einfachften, durch einen Halbkreis in der Laibungsfläche erzeugten cylindrifchen Gewölbe (Fig. 3), und aus dem einfachften fphärifchen Gewölbe, deffen Laibungsfläche einer Halbkugel (Fig. 4) angehört, die vielfachen fpäter entwickelten Gewölbformen entftanden.

Von den Hauptgruppen umfafst, benennt man die Glieder derfelben folgendermafsen:

a) Cylindrifche Gewölbe:
1) das Tonnen- oder Kufengewölbe;
2) das Kappengewölbe oder die preufsifche Kappe;
3) das Kloftergewölbe;
4) das Muldengewölbe;
5) das Spiegelgewölbe;
6) das Kreuzgewölbe.

Den Uebergang vom cylindrifchen Kreuzgewölbe zur Gruppe der fphärifchen Gewölbe bildet
7) das gotifche Kreuzgewölbe, und
8) das Fächergewölbe oder das Trichtergewölbe.

b) Sphärifche Gewölbe:
9) das Kugel-, bezw. das Kuppelgewölbe, und
10) das böhmifche Kappengewölbe.

Befondere Bildungen, deren Geftalt wohl der Gewölbeform entfpricht, deren Konftruktion aber wefentlich von der charakteriftifchen Durchbildung und Ausführung des in der Erklärung der Gewölbe gegebenen Wefens derfelben abweicht, find:
11) die Gufsgewölbe, aus einem Gufsmaterial (Gufsmörtel, Beton) gebildet, und
12) die hängenden Gewölbe, wobei die ftützenden Widerlagsteile, von oben durch befondere Tragkonftruktionen aufgehängt, freifchwebend gehalten werden.

Nach diefen Erörterungen follen die einzelnen Gewölbe in Rückficht auf ihre Geftaltung und Ausführung für die Anlage der gewölbten Decken näher befprochen werden.

Litteratur

über »Gewölbe im allgemeinen«.

LEYBOLD, L. Syftematifche Zufammenftellung der Gewölbeformen und Conftruction. Kaiferslautern 1856.

LEYBOLD, L. Syftematifche Zufammenftellung der Gewölbeformen und deren Conftruction. ROMBERG's Zeitfchr. f. pract. Bauk. 1858, S. 3.

Vaulting and groining. *Building news*, Bd. 10, S. 951; Bd. 11, S. 22, 76, 112, 132.

DEJARDIN. *Routine de l'établiffement des voûtes, ou recueil de formules pratiques et de tables déterminant a priori et d'une manière élémentaire, le tracé, les dimenfions et le métrage des voûtes d'une efpèce quelconque.* Neue Ausg. Paris 1865.

Bosc, E. *Étude pratique fur la conftruction des voûtes.* *Gaz. des arch. et du bât.* 1877, S. 46, 71, 99, 111, 112.

Gottgetreu, R. Beitrag zur gefchichtlichen Entwickelung der Gewölbe. Zeitfchr. f. Bauw. 1879, S. 91.

Ueber Bruchfteingewölbe in magerem Cementmörtel. Baugwks.-Ztg. 1883, S. 246.

Menzel, C. A. Der Gewölbebau dargeftellt in Bezug auf Entftehung und Anwendung, Bau und Konftruktion, Tragfähigkeit etc. mit Berückfichtigung der Wölbungen der Thür- und Fenfterfturze, der Rauchmäntel und der gewölbten Treppen. Herausg., verm. u. verb. von C. Schwatlo. Halle 1866. — 2. Aufl. von A. C. Menzel & G. Franke: 1875.

Eagles, T. H., *On vaulting.* *Builder,* Bd. 32, S. 496. *Building news,* Bd. 26, S. 625, 633, 635.

Vaulting. *Builder,* Bd. 32, S. 1035.

Conftruction der Gewölbe. Haarmann's Zeitfchr. f. Bauhdw. 1876, S. 7, 21.

Der Gewölbe-Bericht des öfterreichifchen Ingenieur- und Architekten-Vereins und die Entwickelung der Anwendung der Bauweifen der Gewölbe in der Baukunft. Wien 1898.

11. Kapitel.

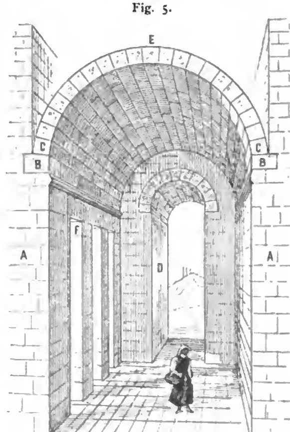
Tonnen- oder Kufengewölbe.

a) Geftaltung der Tonnengewölbe.

5. Gerades Tonnengewölbe; Halbkreisgewölbe.

Das einfache Tonnen- oder Kufengewölbe befitzt als Laibungsfläche die halbe Oberfläche eines geraden Kreiscylinders. Die Gewölbachfe fteht alfo rechtwinkelig zur Ebene des erzeugenden Halbkreifes, weshalb ein folches Gewölbe auch ein »gerades Tonnengewölbe« genannt wird. Jeder Schnitt, parallel zu diefer Ebene geführt, liefert wiederum denfelben Halbkreis und diefem entfprechende Stofsfugenkanten. Jede Ebene, welche durch die Gewölbachfe geführt wird, fchneidet die Laibungsfläche in geraden, der Gewölbachfe parallelen Linien oder geraden Lagerfugenkanten. Die Pfeilhöhe diefes Gewölbes ift gleich der halben Spannweite desfelben; mithin wird das Pfeilverhältnis $^1/_2$.

Fig. 5.



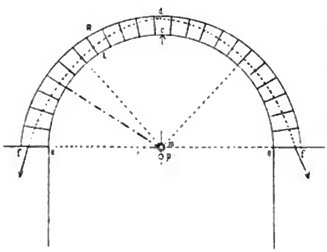
In Fig. 5 ift ein gerades, einfaches Tonnengewölbe dargeftellt.

Die Rückenlinie desfelben ift ein zur inneren Wölblinie konzentrifch geführter Halbkreis, fo dafs für das Gewölbe überall die gleiche Gewölbftärke vorhanden ift. Die Widerlagskörper *A* ftützen das Gewölbe. Die eine Widerlagsmauer ift mit Oeffnungen verfehen, welche unterhalb der Kämpferfchicht *B* mit ftarken Steinquadern *F*, »geraden Sturzen«, überdeckt find. Die Schildmauer *D* ift durchbrochen und in ihrer Oeffnung oben mit einem halbkreisförmigen »Mauerbogen« abgefchloffen.

Die Stirn *B E B* des Gewölbes ift durch die radial gerichteten Gewölbfugen fo geteilt, dafs eine ungerade Anzahl gleich grofser Teilungen der Wölbfchichten *B, C, E* entftanden, alfo eine Schlufsfuge vermieden und die Anordnung einer Schlufsfteinfchicht *E* ermöglicht ift, welche zu beiden Seiten von fymmetrifch liegenden Gewölbefchenkeln begleitet wird.

Die Lagerfugenkanten treten als gerade Linien auf, welche vom Vorhaupt bis zum Hinterhaupt durchlaufen, während die Stofsfugenkanten, welche Teile des erzeugenden Halbkreifes find, bei den einzelnen Wölbfchichten in Verband gefetzt, gegen die Lagerfugenkanten geführt find. Die einzelnen Wölbfteine haben eine keilförmige Geftalt. Die Gewölbefohle ift eine wagrechte Ebene; die Lagerfugenflächen ftehen fenkrecht zur Laibungsfläche und rechtwinkelig zur Stirn des Gewölbes, während die Stofsfugenflächen rechtwinkelig zu den Lagerfugenflächen und in Ebenen auftreten, welche parallel mit der Gewölbeftirn find.

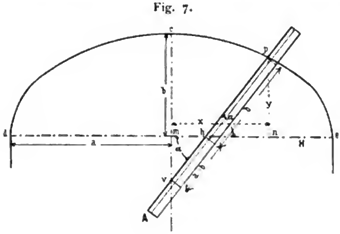
Fig. 6.



Aus ftatifchen Gründen ift häufig die Rückenlinie *R* (Fig. 6) auch bei den einfachen geraden halbkreisförmigen Tonnengewölben kein zur inneren Wölblinie konzentrifcher Kreis, fondern ein Kreisbogen *fdf* mit dem Mittelpunkte *p*, welcher fenkrecht unter dem Mittelpunkte *m* der inneren Wölblinie *L* liegt. Hierdurch entfteht eine vom Scheitel *cd* aus bis zum Gewölbfufs *ef* ftetig wachfende Gewölbftärke; der Fugenfchnitt für das Gewölbe felbft erleidet aber hierdurch im allgemeinen keine Aenderung.

Ift die Laibungsfläche eines geraden Tonnengewölbes die halbe Oberfläche eines elliptifchen Cylinders, fo entfteht das elliptifche Tonnengewölbe. Ift in Fig. 7 die Pfeilhöhe *mc* die halbe kleine Achfe der Ellipfe, während die grofse Achfe *de* die Spannweite giebt, fo heifst ein folches elliptifches Gewölbe ein **gedrücktes** Tonnengewölbe, und andererfeits wird ein elliptifches Gewölbe ein **überhöhtes** Tonnengewölbe (Fig. 8) genannt, wenn die halbe grofse Achfe *mc* der Ellipfe zur Pfeilhöhe und die kleine Achfe *de* derfelben zur Spannweite genommen wird. Auch bei diefen elliptifchen Gewölben find die Lagerfugenflächen winkelrecht zur Laibungsfläche und fenkrecht zur Stirnebene des Gewölbes anzuordnen. 6. Elliptifches Tonnengewölbe.

Fig. 7.



In Fig. 7 u. 8 find die Konftruktionen für Ellipfen gegeben, welche zweckmäfsig für das Zureifsen derfelben auf dem Reifsboden (Gipseftrich, Bretterboden) in der Praxis Anwendung finden.

In Fig. 7 fei die Länge der halben grofsen Achfe der Ellipfe $md = a$, diejenige der halben kleinen Achfe $mc = b$. *A* fei eine Holzleifte mit gerader Kante vp. Auf derfelben ift $vp = a$ und $ph = b$ genau abgetragen und bezeichnet, fo dafs auch $vh = a - b$ ift.

Bewegt man diefe Leifte in der Weife, dafs der Punkt v fich dabei auf der lotrechten Linie *V* der kleinen Achfe *b* und der Punkt *h* fich auf der wagrechten Linie *H* der grofsen Achfe fortbewegt, fo wird durch den Punkt *p* ftets ein Ellipfenpunkt beftimmt. Sind folche Punkte *p* in gröfserer Zahl feft-

gelegt, fo kann das Zeichnen der Ellipfe leicht vorgenommen werden. Auf dem Zeichentifche benutzt man ftatt der Holzleifte einen Papierftreifen mit gerader Seitenkante.

Dafs p mit den Koordinaten x, y ein Punkt der Ellipfe ift, folgt unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 7 durch nachftehende Ueberlegung. Es ift $\frac{y}{b} = \sin \alpha$, alfo

$$\frac{y^2}{b^2} = \sin \alpha^2 \quad \ldots \ldots \quad 1.$$

Ferner ift

$$x = mh + hn \quad \ldots \ldots \quad 2.$$

Aus der Aehnlichkeit der beiden rechtwinkeligen Dreiecke mhv und hnp ergiebt fich

$$\frac{mh}{hn} = \frac{a-b}{b};$$

folglich ift auch

$$\frac{mh + hn}{hn} = \frac{a - b + b}{b} = \frac{a}{b} \quad \text{und} \quad mh + hn = a\frac{hn}{b};$$

d. i. unter Benutzung von Gleichung 2

$$x = a\frac{hn}{b},$$

und, da

$$\frac{hn}{b} = \cos \alpha$$

ift, auch

$$\frac{x}{a} = \cos \alpha$$

und

$$\frac{x^2}{a^2} = \cos \alpha^2 \quad \ldots \ldots \quad 3.$$

Werden die beiden Gleichungen 1 und 3 addiert, fo ergiebt fich

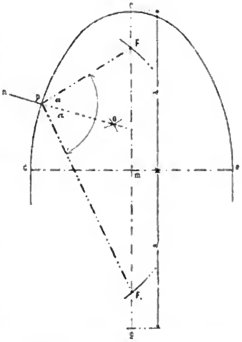
$$\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = \sin \alpha^2 + \cos \alpha^2, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1,$$

woraus

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2}(a^2 - x^2) \quad \ldots \ldots \quad 4.$$

als bekannte Mittelpunktsgleichung der Ellipfe folgt.

Fig. 8.



In Fig. 8 ift die Ellipfenkonftruktion mit Hilfe der Brennpunkte F, F_1 unter Benutzung der Eigenfchaft der Ellipfe, dafs die Summe der von irgend einem Ellipfenpunkte p nach den Brennpunkten gezogenen Leitftrahlen $pF + pF_1$ gleich der Länge $2a$ der grofsen Achfe ift, angegeben.

Man beftimme die Brennpunkte F und F_1 durch die Schnittpunkte der aus dem Punkte d oder e mit dem Halbmeffer $dF = dF_1 = a$ befchriebenen Kreisbogen auf der grofsen Achfe cg. Befeftigt man in F und F_1 je einen eifernen Nagel (Drahtftift), knüpft man hieran die Enden einer Schnur, deren Länge $cg = 2a$ ift, legt man an die innere Seite der Schnur einen Bleiftift und fpannt man diefelbe hierdurch leicht an, fo kann die Ellipfe in einem fortlaufenden Zuge »aufgeriffen« werden.

Die Normale pn für irgend einen Punkt p der Ellipfe ift der Halbierungsftrahl no des von den Leitftrahlen gebildeten Winkels FpF_1.

Ein ferneres, jedoch mehr auf dem Zeichenbrette angewendetes Verfahren zum Zeichnen einer Ellipfe, welches wohl die Methode der »Vergatterung« genannt wird, ift in Fig. 9 gegeben.

Man teilt die halbe kleine Achfe $me = me = b$ proportional mit der Teilung der halben grofsen Achfe $dm = a$ und giebt den Ordinaten, welche den einzelnen Teilpunkten entfprechen, die ihnen zukommenden Längen der Ordinaten eines um m mit dem Halbmeffer b gefchlagenen Viertelkreifes.

Die proportionale Teilung von b und a erfolgt fehr einfach durch Benutzung der Strahlen dc und ee. Zieht man durch den beliebigen Punkt g die Linie gi parallel zu me, fo fchneidet diefelbe den Strahl ee im Punkte h. Die Parallele zu de, durch h geführt, fchneidet den Strahl dc in h_1, und

die durch h_1 zu $m c$ gezogene Parallele $i_1 h_1 g_1$ teilt in ihrem Fufspunkte g_1 die Länge $d m = a$ in demfelben Verhältniffe, wie der Punkt g die Länge $m e = b$ geteilt hat.

Denn mit Bezugnahme auf Fig. 9 ift $\frac{x}{u} = \frac{a}{b}$, alfo

$$x = \frac{u}{b} a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5.$$

Ift nun allgemein $u = \frac{1}{n} b$, fo wird auch

$$x = \frac{\frac{1}{n} b a}{b} = \frac{1}{n} a.$$

Die Ordinate des Viertelkreifes $c e$ ift für den Punkt $g = g i = y$. Zieht man durch i wiederum die Parallele zu $d e$, fo wird die Gerade $g_1 h_1 i_1$ im Punkte i_1 gefchnitten, und diefer Punkt ift ein Ellipfenpunkt. Denn man erhält aus dem rechtwinkeligen Dreiecke $m g i$

$$y^2 = b^2 - (b - u)^2,$$

auch

$$y^2 = 2 b u - u^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 6.$$

Aus Gleichung 5 folgt $u = \frac{b}{a} x$. Setzt man diefen Wert in Gleichung 6, fo wird

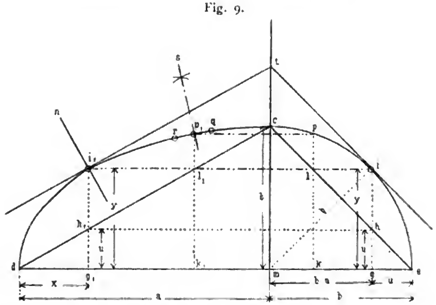
$$y^2 = \frac{2 b^2 x}{a} - \frac{b^2}{a^2} x^2,$$

d. i.

$$y^2 = \frac{b^2}{a^2} (2 a x - x^2), \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 7$$

entfprechend der Scheitelgleichung der Ellipfe mit den Halbachfen a und b.

Fig. 9.



Ebenfo ift der Ellipfenpunkt p_1 zu ermitteln. Um die Normale in dem beliebigen Ellipfenpunkte i_1 zu beftimmen, legt man in dem entfprechenden Punkte i des Viertelkreifes $c e$ rechtwinkelig zu $m i$ die Berührende T feft. Diefelbe trifft die erweiterte Gerade $m c$ im Punkt t, und, wie bekannt, ift die von t nach i_1 geführte Gerade die Tangente der Ellipfe in i_1. Das Lot $i_1 n$ im Punkte i_1 auf $t i_1$ errichtet, giebt die Normale für diefen Punkt.

Das Feftlegen der winkelrechten Fugenrichtung bei einer Ellipfe [1]) kann nach Fig. 10 auch in der folgenden Weife gefchehen. Aus den Halbachfen a und b der Ellipfe $d c e$ ift das Rechteck $m c k e$ gezeichnet und darin find die Diagonalen $m k$ und $e c$ gezogen. Für den beliebigen Punkt p der Ellipfe, deffen Abfciffe x ift, foll die Normale beftimmt werden.

Man fälle von p das Lot $p g$ auf $m e$, welches verlängert die Diagonale $m k$ in f trifft. Von f fälle man das neue Lot $f l$ auf die Diagonale $c e$, welches entfprechend erweitert die Seite $m e$ des Rechteckes in h fchneidet. Die Verbindungslinie von h und p liefert die gefuchte Normale N. Auf Grund

[1]) Siehe: *Annales des ponts et chauffées* 1886, II. Sem., S. 404.

der Konftruktion ift mit Anwendung der Bezeichnungen in Fig. 10 aus der Aehnlichkeit der Dreiecke hgf und cme zunächft $\frac{z}{v} = \frac{b}{a}$, demnach

$$z = v \frac{b}{a} \quad \ldots \quad 8.$$

Da auch $\triangle fgm \sim \triangle kem$ ift, fo erhält man $\frac{v}{x} = \frac{b}{a}$,

woraus

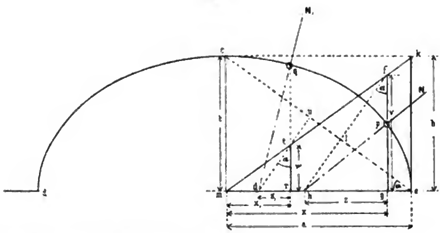
$$v = \frac{b}{a} x \quad \ldots \quad 9.$$

Setzt man diefen Wert für v in Gleichung 8, fo wird

$$z = \frac{b^2}{a^2} x, \quad \ldots \quad 10.$$

entfprechend dem Ausdruck für die Subnormale des Ellipfenpunktes p.

Fig. 10.



Ebenfo ergiebt fich für die Subnormale z_1 des Punktes q der Ellipfe der Ausdruck

$$z_1 = \frac{b^2}{a^2} x_1 .$$

Oft begnügt man fich bei praktifchen Ausführungen beim Feftlegen der Normalen für Ellipfenpunkte mit einem Näherungsverfahren. Man fchneidet z. B. in Fig. 9 von p_1 nach rechts und links gleiche Stücke $p_1 q$ und $p_1 r$ von verhältnismäfsig geringer Länge ab und betrachtet das Ellipfenftück qr als eine gerade Linie, auf welcher in ihrem Halbierungspunkte p_1 die Winkelrechte $p_1 s$ als Normale der Ellipfe errichtet wird.

7. Korbbogengewölbe.

In manchen Fällen ift es vorteilhaft, bei den im Gewölbebau auftretenden elliptifchen Tonnengewölben während der Ausführung des Gewölbes felbft ein noch einfacheres Feftlegen der normal zur Ellipfe gerichteten Gewölbfugen veranlaffen zu können, als folches nach den im vorhergehenden Artikel gezeigten Verfahren möglich ift. Zu diefem Zwecke erfetzt man die Ellipfe durch einzelne Kreisbogenftücke, welche mit Krümmungshalbmeffern derart befchrieben und zufammengefetzt werden, dafs eine Kurve entfteht, welche der beabfichtigten Ellipfe thunlichft nahe kommt. In Fig. 11 ift eine derartige Konftruktion der Bogenlinie dCe ausgeführt.

Um den Mittelpunkt m der Ellipfe find 3 konzentrifche Kreife befchrieben, deren Halbmeffer mg gleich der halben kleinen Achfe, me gleich der halben grofsen Achfe und mh gleich der halben grofsen Achfe plus der halben kleinen Achfe zu nehmen find.

Zur Beftimmung eines Ellipfenpunktes und der dazu gehörigen Normalen ift der beliebige Strahl mkl gezogen, welcher den Kreis g in i, den Kreis e in k und den Kreis h in l fchneidet. Zieht man ip parallel zu mh und kp parallel zu mC, fo fchneiden fich diefe beiden Linien im Punkte p, welcher bekanntlich ein Punkt der Ellipfe mit den Halbachfen me und mC ift. Verbindet man l mit p, fo ift lp die Normale für die Ellipfe im Punkte p.

Auf der linken Seite von Fig. 11 find für vier Hauptteile und in der Nähe der grofsen Achfe

für einen Zwifchenteil der halben Ellipfe die Normalen *Co*, *qr*, *st* .... gezeichnet. Die Schnittpunkte *5*, *4*, *3* .... der Normalen *Co* mit *qr*, fodann *qr* mit *st* .... liefern die Krümmungsmittelpunkte der zugehörigen Kreisbogen, und zwar *5* für den Kreisbogen *Cq*, *4* für den Kreisbogen *qs* .... Der für die Ellipfe mit den Halbachfen *a* und *b* mafsgebende Krümmungshalbmeffer ρ ift in den Endpunkten der grofsen Achfe als

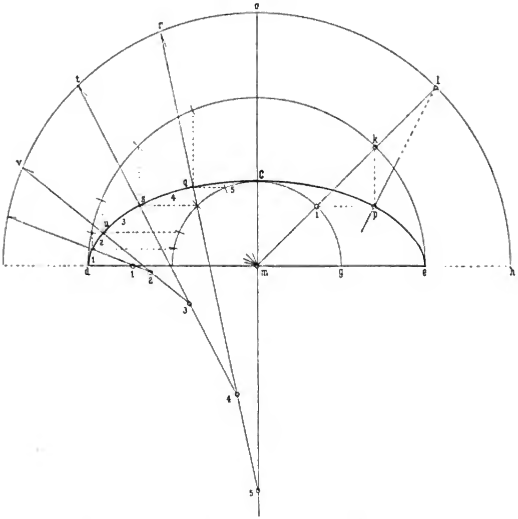
$$\rho = \frac{b^2}{a}$$

und in den Endpunkten der kleinen Achfe als

$$\rho = \frac{a^2}{b}$$

bekanntlich beftimmt, fo dafs nach Berechnung diefer Werte die gröfsten und kleinften Krümmungshalbmeffer von vornherein feftgefetzt werden können.

Fig. 11.



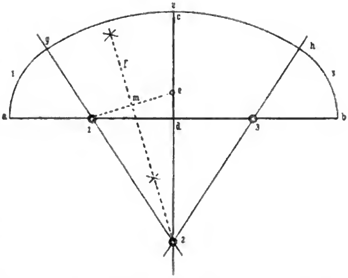
Die aus den verfchiedenen Kreisbogenftücken zufammengefügte Bogenlinie *d C e*, wobei in den Vereinigungspunkten *C*, *q*, *s* .... für je 2 Kreisbogen eine gemeinfchaftliche Tangente vorhanden ift, wird Korbbogenlinie oder kurz Korbbogen genannt. Sie wird befchrieben aus einer beftimmten, bei Korbbogen mit wagrechter Achfe und wagrechter Scheiteltangente ungeraden Anzahl von Mittelpunkten, beifpielsweife deren 9 in Fig. 11.

Wenngleich die Anzahl diefer Mittelpunkte nach dem foeben erklärten Verfahren beliebig grofs genommen werden könnte, fo ift doch für die praktifche Ausführung folcher Korbbogen meiftens nur eine geringe Zahl von Mittelpunkten er-

forderlich. In vielen Fällen, namentlich wenn bei gedrückten Bogen das Pfeilverhältnis nicht unter $^1/_8$ ſinkt, werden nur 3 Krümmungsmittelpunkte benutzt.

Von den zahlreichen Angaben für die Konſtruktion von Korbbogen ſollen hier nur einige, welche in der Praxis noch hier und dort Anwendung finden, berückſichtigt werden.

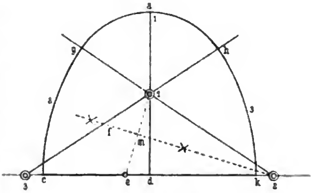
Fig. 12.



1) Korbbogen aus 3 Mittelpunkten. In Fig. 12 ſei ab die gegebene Spannweite, cd die gewählte oder gegebene Pfeilhöhe eines zu zeichnenden gedrückten Korbbogens, und dabei ſei die Beſtimmung getroffen, daſs der im Gewölbfuſs a, bezw. b beginnende Kreisbogen mit vorgeſchriebenem Halbmeſſer $a\,1 = b\,3$ geſchlagen werde, deſſen Gröſse jedoch, um für den Scheitelbogen nicht einen Halbmeſſer von unendlicher Gröſse zu erhalten, kleiner ſein muſs, als die Pfeilhöhe dc.

Man trage auf cd die Strecke $ce = a\,1$ ab, ziehe $e\,1$ und errichte im Halbierungspunkte m der Geraden $e\,1$ das gehörig verlängerte Lot f, welches die verlängerte Gerade cd im Punkte 2 ſchneidet. Alsdann iſt 2 der Mittelpunkt des Scheitelbogens 2. Die gemeinſchaftlichen Vereinigungspunkte g und h der einzelnen Kreisbogen liegen auf den verlängerten Strahlen $2\,1$, bezw. $2\,3$.

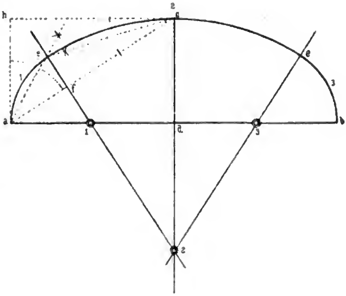
Fig. 13.



Für einen überhöhten, aus 3 Mittelpunkten beſchriebenen Korbbogen cak iſt in Fig. 13 die nun ohne weiteres verſtändliche Zeichnung gegeben.

Bei der in Fig. 14 veranſchaulichten Darſtellung eines gedrückten Korbbogens mit 3 Mittelpunkten iſt aus der Seite ad (halbe Spannweite) und der Seite dc (Pfeilhöhe) das Rechteck $adch$ gezeichnet, hierauf die Diagonale ac desſelben gezogen und danach die Halbierung der Winkel hac und hca vorgenommen. Die von a und c ausgehenden Halbierungsſtrahlen treffen ſich im Punkte e, welcher gemeinſchaftlicher Punkt der hier zuſammentretenden Kreisbogen wird. Von e iſt das Lot ef auf die Diagonale ac gefällt und gehörig erweitert, um in ſeinem Schnitte 1 mit ad und im Schnitte 2 mit der verlängerten Geraden cd die geſuchten Mittelpunkte 1 und 2 für die Bogen 1 und 2 zu liefern.

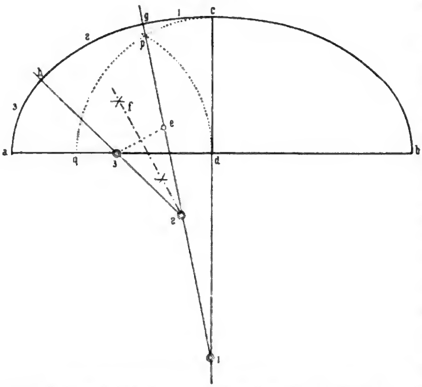
Fig. 14.



Der Mittelpunkt 3 für den Bogen 3 liegt ſymmetriſch mit Punkt 1. Dieſelbe Konſtruktion gilt auch für den überhöhten Korbbogen.

2) Korbbogen aus 5 Mittelpunkten. Beim gedrückten Korbbogen in Fig. 15 iſt ab die Spannweite und dc die Pfeilhöhe. Obgleich die Halbmeſſer für den Scheitelbogen und für den An-

Fig. 15.



satzbogen am Kämpfer von im allgemeinen beliebiger, nur innerhalb gewisser Grenzen liegender Länge genommen werden können, so empfiehlt es sich doch aus statischen Gründen, wie aus Rücksichtnahme auf die praktische Ausführung der Korbbogengewölbe den Halbmesser des Scheitelbogens nicht zu grofs, den Halbmesser des Kämpferbogens dagegen nicht zu klein zu nehmen. In Fig. 15 ist der erstere (= *c 1*) etwas kleiner als die Spannweite und der letztere (= *a 3*) etwas gröfser als ¼ der Spannweite *a b* gewählt.

Um die Länge des Scheitelbogens, welche gleichfalls ziemlich willkürlich angenommen werden könnte, nicht zu übertreiben, ist es empfehlenswert, den mit dem Halbmesser *d c* um *d* beschriebenen Viertelkreis *q c* in 3 Teile zu zerlegen und durch den höchsten Teilpunkt *p* den Strahl *1 p* als Begrenzungshalbmesser für den Scheitelbogen anzunehmen. Dieser um *1* mit *1 c* beschriebene Bogen erhält dann im Punkte *g* der erweiterten Geraden *1 p* seinen Endpunkt.

Nachdem *a 3* als Halbmesser des Kämpferbogens festgelegt ist, wird, ähnlich der Konstruktion in Fig. 12, die Länge *a 3* von *g* nach *e* auf *g 1* abgetragen und im Halbierungspunkte der Linie *3 e* das Lot *f* errichtet, welches entsprechend verlängert die Linie *g 1* in *2* schneidet. Der Punkt *2* ist alsdann Mittelpunkt für den Bogen *2*, welcher mit dem Halbmesser *2 g* beschrieben wird. Der Begrenzungshalbmesser für diesen Bogen ist der erweiterte Strahl *2 3*, auf welchem *h* der Vereinigungspunkt für den um *3* mit *3 a* beschriebenen Kämpferbogen und für den Bogen *g h* wird.

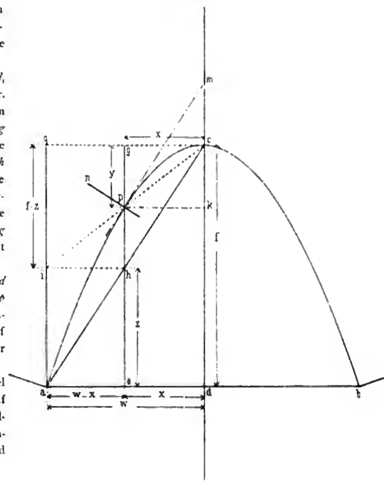
3) Korbbogen aus mehr als 5 Mittelpunkten werden immerhin am zweckmäfsigsten auf Grund des in Fig. 11 gegebenen Verfahrens beschrieben.

Durch theoretische Untersuchungen ergiebt sich, dafs, unter sonst gleichen Verhältnissen genommen, die Parabel von allen einfachen Kurven diejenige ist, für welche, wenn dieselbe als Mittellinie der Gewölbstirn, bezw. als Bogenlinie gewählt wird, das stabilste Gewölbe hergestellt werden kann, und schon aus diesem Grunde sollten Tonnengewölbe, wenn nicht ganz besondere ästhetische Forderungen für die Gestaltung derselben gestellt werden, als Gewölbe mit einer Parabel als Bogenlinie, bezw. als Stirnmittellinie, also als Parabelgewölbe häufiger als bis jetzt im Hochbauwesen der Fall ist, zur Ausführung kommen. Für Parabeltonnengewölbe würde die Pfeilhöhe mindestens gleich der halben Spannweite auftreten, da bei geringer Pfeilhöhe eine flachbogige Parabel als Erzeugende für ein Flachbogengewölbe entsteht. Eine die halbe Spannweite überschreitende Bogenhöhe liefert eine Bogenöffnung, welche für die Benutzung des dazu gehörigen Raumes oft erwünscht und vorteilhaft ist, ohne dafs dadurch besondere Schwierigkeiten für die Gewölbeausführung erwachsen, dafs vielmehr dadurch noch Nutzen für die Widerlagskörper entsteht. 8 Parabelgewölbe.

Von den zahlreichen Konstruktionen der Parabel ist ein für unsere Zwecke sehr brauchbares Verfahren zum Zeichnen einer mit beliebiger Weite und Höhe versehenen Parabel in Fig. 16 gegeben.

Es sei $w = ad = db$ gleich der halben Spannweite und $f = cd$ gleich der Pfeilhöhe der zu zeichnenden Parabel; die Abmessungen sind für beide Stücke beliebig gewählt.

Fig. 16.



Man ziehe cq parallel zu ad, aq parallel zu cd und die Gerade ac. Zieht man nunmehr durch den beliebigen Punkt e der Geraden ad die Parallele eg zu dc, so schneidet dieselbe die Linie ac im Punkte h. Führt man durch h parallel zu ad die Gerade hi, welche die Gerade aq in i schneidet und verbindet man i mit c durch eine gerade Linie, so trifft dieselbe die Gerade eg in einem Punkte p, welcher ein Punkt der gesuchten Parabel ist.

Nimmt man pk parallel zu ad und $kc = cm$, so ist der Strahl mp nach bekannten Eigenschaften der Parabel Tangente in p, und das in p auf pm errichtete Lot ist die Normale für diesen Punkt.

Dafs p ein Punkt der Parabel ist, ergiebt sich unter Bezugnahme auf die Bezeichnungen in Fig. 16 in folgender Weise. Auf Grund der Aehnlichkeit der beiden Dreiecke gpc und qic ist $\frac{y}{x} = \frac{(f-z)}{w}$, demnach

$$y = (f - z)\frac{x}{w} \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad 11.$$

Da ferner $\triangle\, cha \sim \triangle\, dca$ ist, so folgt $\frac{z}{w-x} = \frac{f}{w}$, mithin

$$z = \frac{f}{w}(w - x) \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad 12.$$

Führt man diesen Wert von z in Gleichung 11 ein, so erhält man den Ausdruck

$$y = \frac{f}{w^2}x^2, \quad \dots\dots\dots\dots\dots \quad 13.$$

welcher der Gleichung der Parabel entspricht, deren Achse mit der Koordinatenachse cd zusammenfällt.

Steht wie in Fig. 17 dc schiefwinkelig auf ab im Halbierungspunkte d, so sind ab und cd konjugierte Durchmesser der Parabel, und aus der hier als bekannt vorausgesetzten Uebereinstimmung der Form der Gleichung der Parabel, bezogen auf ein System konjugierter Achsen mit der Scheitelgleichung 13 derselben, folgt, dafs alle Eigenschaften der Parabel, welche vom Koordinaten-

Fig. 17.

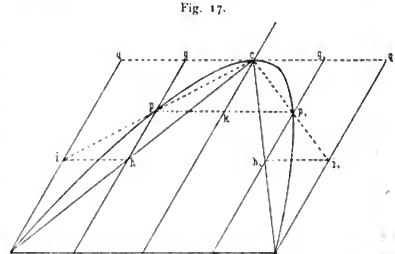
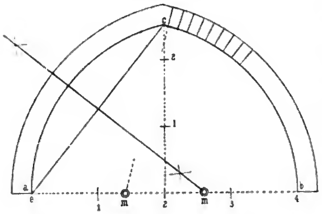


Fig. 18.



winkel unabhängig find, auch bei dem neuen Syftem mit konjugierten Achfen Gültigkeit behalten.

Von Bogenlinien in der Form von Fig. 17 u. 18 werden wir fpäter noch Gebrauch machen.

9. Spitzbogiges Gewölbe.

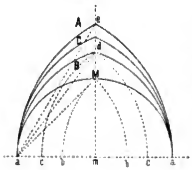
Ift die Bogenlinie nicht ftetig gekrümmt, fondern wie in Fig. 18 aus zwei in einem Punkte *c*, dem Scheitelpunkte, fich fchneidenden Bogenfchenkeln *a c* und *b c* zufammengefetzt, die am Schnittpunkte einen mehr oder weniger grofsen Bogenwinkel bilden, fo entfteht der **Spitzbogen** als erzeugende Linie für das **fpitzbogige Gewölbe**. Je nach der Gröfse des Bogenwinkels entftehen die mehr oder weniger fchlanken Spitzbogen.

In Fig. 18 ift der Bogenwinkel *a c b*, bei dem das Pfeilverhältnis $2\frac{1}{2}$: 4 oder 5 : 8, welches fchon in früher Zeit bei den Spitzbogen Anwendung gefunden hat, zu Grunde gelegt ift, einem weniger fchlanken Spitzbogen entfprechend, bietet aber für ein fpitzbogiges Tonnengewölbe eine zweckmäfsige Bogenlinie.

Bei der Verwendung des Spitzbogens zu Tonnengewölben find die Schenkel desfelben jeder für fich meiftens aus einem Mittelpunkte zu fchlagen; nur in befonderen Fällen können die Bogenfchenkel für fich aus mehreren Mittelpunkten nach Art der Korbbogen befchrieben werden. Die Form der Spitzbogen ift eine äufserft mannigfache und, wenn auch fpäter bei Betrachtung der gotifchen Kreuzgewölbe noch näher auf die Bildung von Spitzbogen eingegangen werden foll, fo find hier, fo weit das fpitzbogige Tonnengewölbe in Betracht kommt, vorweg folgende Bemerkungen zu machen.

In Fig. 19 find einige Spitzbogen für die Spannweite *a a* in Zufammenftellung mit einem um *m* befchriebenen Halbkreife gezeichnet, wobei die Mittelpunkte *b* und *c* der Bogenfchenkel *B* und *C*, wie ohne weiteres erfichtlich, mit Hilfe der Sehnenlängen *a M* und *a d* beftimmt wurden. Der höchfte Spitzbogen *A* hat für feinen Schenkel einen Halbmeffer gleich der Spannweite, fo dafs der Scheitelpunkt *e* diefes Bogens die Spitze eines über der Spannweite errichteten gleichfeitigen Dreieckes *a e a* bildet. So lange der Mittelpunkt für die Spitzbogenfchenkel innerhalb der Strecke *m a* bleibt, erfcheint der danach gebildete Bogen weniger fchlank, aber vielfach in äfthetifcher und in gewiffen Fällen in ftatifcher und konftruktiver Beziehung günftiger. Eine Grenzlage bildet gleichfam der um *a* befchriebene Spitzbogen *A*. Rückt der Mittelpunkt noch über die Kämpferpunkte *a* hinaus, fo entfteht leicht eine übertrieben fpitze, lanzettartige Form für die Bogenlinie. Wegen der Vielfeitigkeit, welche der Spitzbogen bietet, ift in jedem befonderen Falle die Wahl feiner Form reiflichen Erwägungen zu unterwerfen. Der Umftand, dafs der Spitzbogen an feinem Scheitelpunkte einen Bogenwinkel bildet, beeinflufst die Stellung der Gewölbfugen, welche für jeden Bogenfchenkel nach dem ihm zugehörigen Mittelpunkte gerichtet fein follen, in be-

Fig. 19.



achtenswerter Weiſe. Bei kleinerem Wölbmaterial wird namentlich, wie Fig. 20 zeigt, über dem Scheitelpunkte des Bogens ein häſsliches und der Stabilität desſelben ungünſtiges Syſtem von kleinen, ſtark keilförmigen Stücken angehäuft, welches in keiner Weiſe einer guten Konſtruktion entſpricht und deshalb als fehlerhaft bezeichnet wurde. Aber auch ſelbſt bei gröſseren Stücken von Wölbmaterial iſt die Fugenanordnung in der angegebenen Weiſe in der Nähe des Scheitels zu vermeiden, da zweckmäſsig, dem Verlauſe der Mittellinie des Druckes (Drucklinie) im Spitzbogengewölbe entſprechend, in der Nähe des Scheitels ſich mehr der lotrechten Richtung nähernde Gewölbfugen anzuordnen ſind.

Aus dieſem Grunde richtet man nach Fig. 21 die Wölbſchichten in der Nähe des Scheitels unter Aufgeben der genau winkelrechten Stellung zur Bogenlinie nach ſymmetriſch liegenden verſetzten Mittelpunkten. Läſst man bis zu einer Entfernung von 30 bis 40 cm auf beiden Seiten des Scheitels die winkelrechte Fugenrichtung für die Mittelpunkte *o*, bezw. *11* eintreten, ſo iſt nunmehr das höchſte Bogenſtück zwiſchen den normalen Grenzfugen *o . . . o* und *11 . . . 11* für kleineres Wölbmaterial,

Fig. 20.

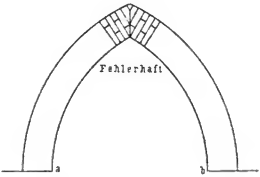
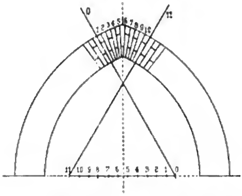


Fig. 21.

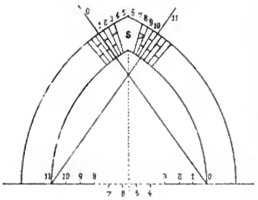


z. B. für Ziegel, in der Weiſe in Schichten zu teilen, daſs, der Dicke der Ziegel und der Stärke der Fugen zwiſchen dem Ziegelmauerwerk entſprechend, die Teilung auf der Rückenlinie des Gewölbbogens mit Vermeiden der ſog. Schluſsfuge vorgenommen wird. Die Teilung auf der inneren Bogenlinie vorzunehmen, iſt nicht rätlich, weil alsdann infolge der immerhin noch notwendigen keilförmigen Geſtalt der Wölbſteine bei der ſonſt üblichen Gewölbſtärke in der Nähe des Rückens ſehr ſtarke Mörtelfugen erforderlich werden, während bei der empfohlenen Teilung, unter Beobachtung regelrechter Fugenſtärken, die einzelnen Steine der Wölbſchichten nur ein mäſsiges Verhauen erleiden oder in der Nähe der inneren Bogenlinie etwas ſchwächere Fugen als oben am Rücken erhalten.

Da die Teilung von der gedachten Scheitellotrechten zu beiden Seiten ſymmetriſch liegt, alſo für den Schluſsſtein eine volle Steinſchicht eingeführt werden muſs, ſo hat man immer für die zu teilende Strecke zwiſchen den Grenzfugen eine ungerade Zahl von Wölbſchichten anzuordnen. Dieſe Zahl iſt nun maſsgebend für das Feſtlegen der Richtungslinien der einzelnen Fugen, indem die Verbindungslinie der Hauptmittelpunkte, *o . . 11*, in dieſelbe Anzahl gleicher Teile zerlegt wird. In der Zeichnung ſind *11* Teilpunkte angewandt, und nunmehr richtet ſich Fuge *1* nach der Geraden *1 . . . 1*, *2* nach der Linie *2 . . . 2* u. ſ. f.

Eine gleiche Anordnung des Fugenſchnittes im Scheitel iſt auch für Spitzbogen, welche aus Bruchſtein- oder Quadermaterial hergerichtet werden ſollen, zu empfehlen.

Fig. 22.

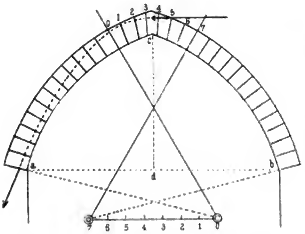


Zuweilen fugt man auch felbft dann, wenn Ziegelmaterial verwendet wird, unter teilweifem Beibehalten der eben befchriebenen Fugenanordnung, nach Fig. 22 eine befonders aus gröfseren Thonfteinen gebrannte oder aus Werkftücken (Quadern) bearbeitete Schlufsfteinfchicht *S* ein, was namentlich bei fteileren Spitzbogen rätlich ift, da alsdann das Verhauen der einzelnen, wenn auch wenigen Schichten in der unmittelbaren Nähe des Scheitels vermieden wird.

Bei fteilen Spitzbogen kann die Grenzlage, bis zu welcher die winkelrechte Fugenrichtung beibehalten wird, fchon mit einem Neigungswinkel von etwa 45 Grad zur Wagrechten *o . . . 11* angenommen werden, während bei weniger fteilen, fog. ftumpfen Spitzbogen die fchon in Fig. 21 angegebene höhere Grenzlage ohne Nachteil für die Ausführung gewählt werden kann.

Werden die Mittelpunkte *o* und *7* (Fig. 23) unter die wagrechte Verbindungslinie *ab* der Kämpferpunkte gelegt, fo entfteht der gedrückte Spitzbogen. Wird dabei die Pfeilhöhe *cd* kleiner als die halbe Spannweite *ad*, fo erhält man den flachen Spitzbogen.

Fig. 23.



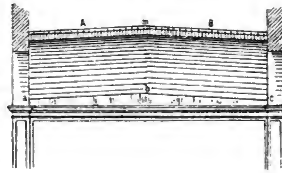
Die Anwendung des gedrückten Spitzbogens, deffen Fugenfchnitt aus der Zeichnung erfichtlich ift, eignet fich aus ftatifchen Gründen, weil im allgemeinen ein günftiger Verlauf der Mittellinie des Druckes fich nachweifen läfst, meiftens vorteilhaft zur Ausführung fpitzbogiger Tonnengewölbe.

Ebenfo wie aus zwei Kreisbogenfchenkeln ein Spitzbogen gebildet werden kann, würde man auch aus zwei fymmetrifchen elliptifchen Bogen oder aus zwei fymmetrifchen Korbbogen einen Spitzbogen konftruieren und danach ein entfprechendes Tonnengewölbe herftellen können. In der Anwendung find alsdann alle diejenigen Punkte wieder zu berückfichtigen, welche bereits bei den elliptifchen und Korbbogengewölben Erwähnung gefunden haben. Auf die elliptifchen Spitzbogengewölbe wird noch bei den »Tonnengewölben mit fog. Stichkappen« und bei den »Netzgewölben« hinzuweifen fein.

Werden gerade Tonnengewölbe in gröfserer Länge zur Ueberdeckung eines Raumes in Anwendung gebracht, fo erfcheint die wagrechte Scheitellinie des Gewölbes dem Auge des Befchauers nicht mehr als eine wirkliche Wagrechte, fondern als eine nach unten fchwach durchgebogene Linie. Diefe optifche Täufchung zieht natürlich das Anfehen des Gewölbes in unangenehme Mitleidenfchaft. Um diefen Eindruck zu verwifchen, läfst man bei derartigen längeren Tonnengewölben (Fig. 24) die Achfen von den Stirnmauern bis zur Mitte des Raumes fchwach geneigt anfteigen, oder wie gefagt wird, man läfst das Gewölbe »mit Stich« verfehen. Die 10. Tonnengewölbe mit Stich.

Scheitellinie und die Kämpferlinien erhalten dann als Parallele zur Gewölbachfe denfelben Stich.

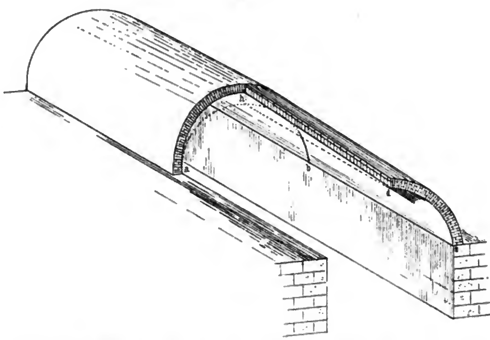
Fig. 24.



In folchem Falle bilden die beiden cylindrifchen Gewölbkörper *A* und *B*, da ihre Achfen nicht mehr rechtwinkelig zu ihren Stirnebenen ftehen, fchiefe cylindrifche Körper, welche in einer fog. »Naht« oder in einem »Grat« *m b* zufammentreffen, fonft aber überall den gleichen lotrechten Querfchnitt befitzen.

Das fchräge Anfteigen *a b*, bezw. *c b* der Kämpferlinien kann beim Vorhandenfein wagrecht geführter Kämpfergefimfe jedoch von nachteiliger Wirkung werden; um dies zu vermeiden, ordnet man das Gewölbe nach Fig. 25 bei wagrechten Kämpferlinien fo an, dafs die Scheitellinie bis zur mittleren Bogenlinie, welche eine andere Form *a h b* als die Bogenlinie der Stirn erhält, in entfprechender

Fig. 25.

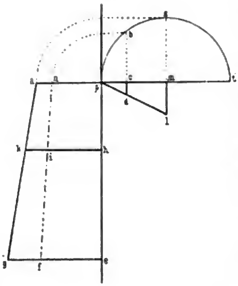


Weife anfteigt. Die Folge hiervon ift, dafs die fämtlichen lotrechten Schnitte, parallel zur Stirnebene gelegt, verfchiedene Bogenlinien aufweifen müffen. In der praktifchen Ausführung folcher Gewölbe wird aber auf dem den Körper des Gewölbes tragenden Gerüfte, wovon fpäter erft die Rede fein kann, ohne von vornherein die Wölblinien zu ändern, an den notwendigen Gerüftftellen eine, vermöge des geringen Stiches, nur fchwache Auffütterung von Holzftücken vorgenommen, welche in ihrer Höhe der Stichhöhe in den zugehörigen Punkten entfprechen.

Um die Höhen der Auffütterungen an verfchiedenen Stellen zu beftimmen, kann man nach Anleitung von Fig. 26 verfahren.

Es fei *p e* die wagrechte Länge der Gewölbhälfte, der um *m* mit dem Halbmeffer *m p* befchriebene Halbkreis *p s t* der Stirnbogen und *m l* die Höhe des Stiches der Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat des Gewölbes. Lotrechte Ebenen *b c*, welche rechtwinkelig zur Stirnebene geführt werden, follen

Fig. 26.



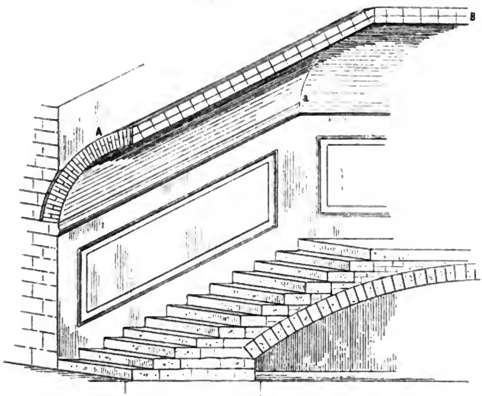
die Laibungsfläche des Gewölbes in geraden ansteigenden Linien schneiden, deren Stichhöhe cd am Grat sich zur Stichhöhe ml der Scheitellinie verhält, wie sich der Abstand pc der gewählten lotrechten Ebene zum Halbmesser pm des Stirnbogens verhält.

Nimmt man daher $pn = cb$ und $ef = db$, so ist nf die gesuchte ansteigende Linie für den lotrechten Schnitt bc und $ef - bc = cd$ die Auffütterung für den Punkt f. Für den beliebig in h parallel zur Stirnebene genommenen lotrechten Schnitt hk ist im Punkte i die Auffütterung gleich dem Unterschiede zwischen hi und cb, während für den Punkt k die Höhe dieser Auffütterung offenbar gleich dem Unterschiede zwischen hk und ms ist, weil ag der ansteigenden Scheitellinie vom Stirnbogen bis zum Grat entspricht, für welche $eg = ls$ und $pa = ms$ maßgebend war.

Was hier für den Halbkreis als Stirnbogen gesagt ist, gilt auch für irgend eine andere Form des zu Grunde gelegten Stirnbogens.

Liegen die gerade Gewölbachse und die ihr parallelen Kämpferlinien eines Tonnengewölbes in einer schiefen Ebene, wobei jedoch zwei einander zugehörige Kämpferpunkte einer wagrechten Geraden angehören, so wird dasselbe ein gerades steigendes Tonnengewölbe genannt. Fig. 27 11. Steigendes Tonnengewölbe.

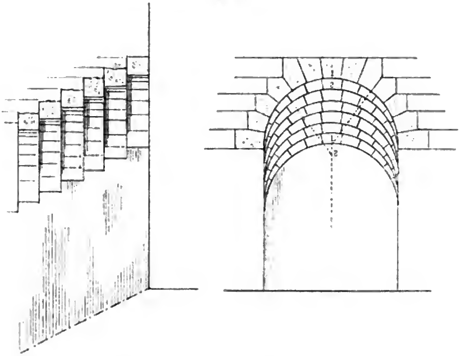
Fig. 27.



veranschaulicht dasselbe an dem im Durchschnitte genommenen Gewölbkörper A. Tritt dasselbe mit einem wagrechten geraden Tonnengewölbe B zusammen, so entsteht in der Schnittlinie wiederum ein Grat a. Derartige Tonnengewölbe finden in der Regel nur bei Treppenanlagen Verwendung und sind auch hierfür schon in früher Zeit in großartiger Weise zur Ausführung gelangt.

Wenngleich der praktiſchen Herrichtung dieſer Gewölbe beſondere Schwierigkeiten nicht entgegenſtehen, ſo wurden doch namentlich im Mittelalter derartige ſteigende Gewölbe aus einzelnen, nebeneinander ſtehenden, kürzeren Gewölben, ſog. »Gurten« oder »Zonen«, deren Kämpfer einer ſtaffelartigen Anordnung folgen, zuſammengefügt. Dieſe Konſtruktionsweiſe, welche in Fig. 28 in Anſicht und Längenſchnitt dargeſtellt iſt, eignet ſich beſonders für Quader als Wölbmaterial.

Fig. 28.



Auch bei den in dieſer Weiſe auszubildenden Gewölben iſt bei der Wahl der Bogenlinie die gröſste Freiheit vorhanden.

12. Schraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe; Schneckengewölbe.

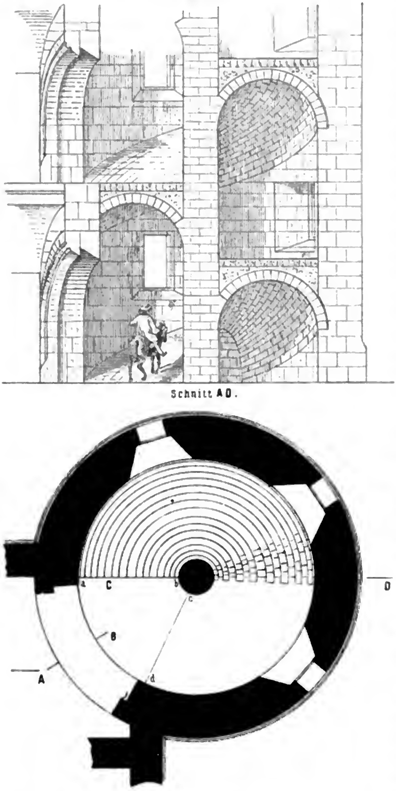
Sind die Achſe und die Kämpferlinien eines Gewölbes Schraubenlinien, bei deren Feſtlegen die beiden zuſammengehörigen Kämpferpunkte der Bogenlinie, welche die Laibungsfläche desſelben erzeugt, die Endpunkte einer geraden wagrechten Linie bilden, ſo nennt man dasſelbe ein *ſchraubenförmig ſteigendes Tonnengewölbe* oder ein *Schneckengewölbe* (Fig. 29). Derartige Gewölbeanlagen können über maſſiven Wendeltreppen, über Reitrampen u. ſ. w. im Inneren eines Bauwerkes und in ſonſt geeigneten Fällen Platz greifen. Kommt bei denſelben Werkſtein als Wölbmaterial zur Benutzung, ſo iſt ein beſonderer Steinfugenſchnitt, wovon ſpäter (unter c) die Rede ſein wird und welcher in Fig. 29 angedeutet iſt, in Anwendung zu bringen. Treten mit den Schneckengewölben Podeſtgewölbe *abcd* zuſammen, deren Kämpferlinien *ad* und *bc* einer wagrechten Ebene angehören, ſo bilden die Schnittlinien über *ab*, bezw. *cd* Grate, welche jedoch genau der erzeugenden Bogenlinie entſprechen.

13. Ringgewölbe.

Iſt die Achſe eines Gewölbes eine in einer wagrechten Ebene liegende, geſetzmäſsig gebildete Kurve, und ſind die in derſelben Ebene liegenden Kämpferlinien der Achſe derartig entſprechend genommene Kurven, daſs in der winkelrecht zur Achſe geſtellten lotrechten Ebene der erzeugenden Bogenlinie zwei zuſammengehörige Kämpferpunkte in jeder Stellung dieſer Ebene immer denſelben urſprünglichen Ab-

ſtand von der Achſe behalten, ſo entſteht die Laibung eines Ringgewölbes oder des ringförmigen Tonnengewölbes (Fig. 30). Am häufigſten wird die Gewölbachſe kreisförmig oder elliptiſch (nur als Halbkreis, bezw. als halbe Ellipſe oder vollſtändig geſchloſſen) zur Anwendung gebracht. Bei Bruchſtein- und Backſteinmaterial entſtehen beim Herſtellen ſolcher Ringgewölbe keine erheblichen Schwierigkeiten; bei Anwendung von Hauſteinmaterial ſind die einzelnen Wölbſteine jedoch nach einem beſonders zu ermittelnden Fugenſchnitte zu bearbeiten. Tritt an die Stelle der krummlinigen Gewölbachſe eine gebrochene gerade Linie, d. h. ein Polygonalzug, ſo entſteht eine Nebenart des Ringgewölbes, welche mit dem Namen polygonales Tonnengewölbe bezeichnet wird. Hierbei ſchneiden die Tonnengewölbe der einzelnen Seiten des Polygons über den Ecken der Achſe in einem gemeinſchaftlichen Grat zuſammen.

Fig. 29.

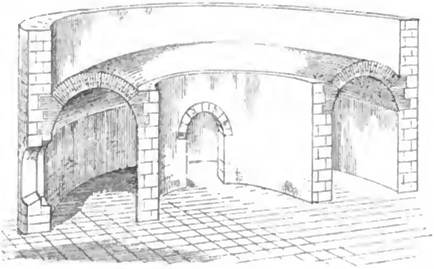


14.
Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Durchdringen die Gewölbflächen kleinerer Tonnengewölbe das eigentliche Hauptgewölbe, ſo nennt man die erſteren Stichkappen oder Lünetten und das ganze Syſtem ein Tonnengewölbe mit Stichkappen. Der Umſtand, daſs bei niedrig gehaltenen Widerlagern der Tonnengewölbe die Höhe des nutzbaren Raumes unter den Kämpferlinien die Anlage von nur mäſsig hohen Licht- oder Durchgangsöffnungen geſtattet, hat dazu geführt, an den Widerlagsmauern gleichſam noch weitere Durchbrechungen des Tonnengewölbes eintreten zu laſſen, um hierdurch nicht allein durch ſchlankere und mit guten Verhältniſſen verſehene Oeffnungen eine beſſere Beleuchtung und

Zugänglichkeit des überwölbten Raumes zu erzielen, als folches durch Oeffnungen in den Stirnmauern allein möglich wird, fondern auch den Eindruck der Schwere und des Ernftes, welchen ein Tonnengewölbe an und für fich macht, mehr und mehr zu mildern. Tonnengewölbe mit Stichkappen find, in wirklicher Pracht und grofsem Reichtum ausgeftattet, bei den hervorragenden Bauwerken italienifcher

Fig. 30.



Renaiffance zur Ausführung gekommen und können fich nach wie vor einer grofsen Beliebtheit erfreuen. Die Stichkappen felbft haben, als kleine Tonnengewölbe genommen, eine wagrechte, eine fchräg auffteigende oder abfallende oder auch eine gebrochene gerade Linie, feltener eine krumme Linie zur Achfe. Ihre Bogenlinie entfpricht den Bogenlinien des Tonnengewölbes überhaupt.

Unter c wird bei der Befprechung der Ausführung der Stichkappen noch die genaue Ausmittelung und das Einfügen derfelben in das zugehörige Hauptgewölbe befchrieben werden. Hier möge nur einftweilen der Einflufs der Stichkappen auf die Gefamtbildung des Tonnengewölbes mit Stichkappen gekennzeichnet werden.

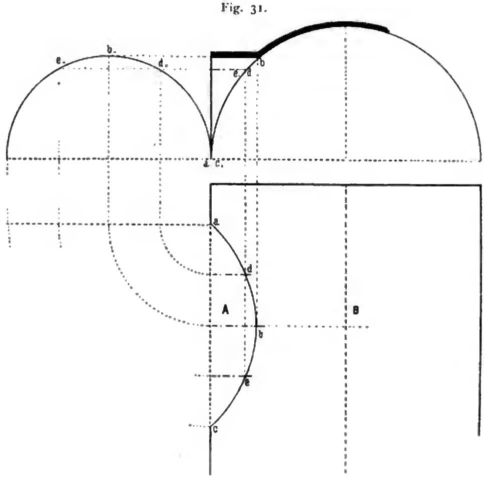
In Fig. 31 ift im Grundrifs *A* die Laibungsfläche der Stichkappe mit halbkreisförmiger Bogenlinie und *B* die Laibungsfläche des Hauptgewölbes, deffen erzeugende Bogenlinie gleichfalls ein Halbkreis ift. Beide Gewölbe haben diefelbe wagrechte Ebene als Kämpferebene und gerade Gewölbachfen, welche fich rechtwinkelig treffen. Die Laibungsflächen *A* und *B* fchneiden fich, wie aus Fig. 31 erfichtlich ift, in einer leicht zu beftimmenden Durchdringungslinie *a b c*, welche hier, wie auch im allgemeinen meiftens bei der Wahl einer beftimmten Bogenlinie für die Stichkappe der Fall ift, nicht allein an und für fich, fondern im befonderen in der wagrechten Projektion als Kurve auftritt. In gleicher Weife würde auch die Durchdringungslinie für die Rückenflächen der beiden Gewölbe zu ermitteln fein. Die Fläche zwifchen diefen beiden Durchdringungslinien trennt die Stichkappe vom Hauptgewölbe, und diefelbe kann als Laibungsfläche eines befonderen, mit beftimmter Stärke behafteten Gewölbes auftreten, welches fich, mit regelrechtem Fugenfchnitte verfehen, an das Hauptgewölbe fchmiegend und in dasfelbe legend, als Stütze für die antretenden Wölbfteine desfelben dienen, gleichzeitig aber für das in das Haupt-

gewölbe gesteckte kleinere Stichkappengewölbe den Anschlufs und die weitere Stütze gewähren mufs.

Hierin ist der Grundsatz für die Konstruktion der Stichkappen ausgesprochen.

So gut nun die wagrechte Projektion der Durchdringungslinien, sei die innere oder äufsere Wölbfläche dabei in Betracht gezogen, neben der Bogenlinie des Hauptgewölbes von der Bogenlinie der Stichkappe abhängig gemacht wird, ebenso gut kann auch umgekehrt diese Bogenlinie bei gegebenem Hauptgewölbe von einer bestimmten, vorweg vorgeschriebenen wagrechten Projektion der Durchdringungslinie abhängig gemacht und unter Berücksichtigung der sonst als unveränderlich fest-

Fig. 31.



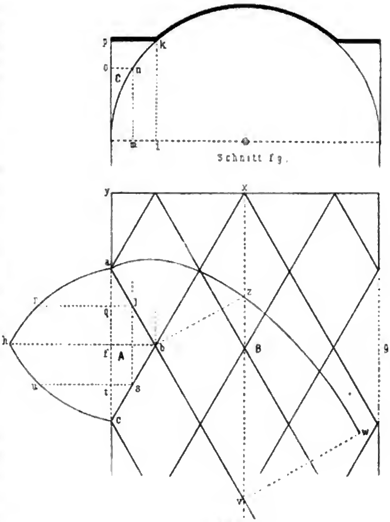
liegenden Bestimmungsstücke des übrigen Gewölbkörpers ermittelt werden. Und gerade unter Benutzung dieser Freiheit ist eine fernere Grundlage für die weitere Entwickelung des Tonnengewölbes erworben, welche sich bei der Anordnung der sog. Netzgewölbe, die später einer besonderen Betrachtung unterzogen werden müssen, in gewissem Grade Geltung verschafft.

In Fig. 32 ist A die Grundrifsprojektion der Laibungsfläche der Stichkappe und B diejenige der halbkreisförmigen Laibungsfläche des Hauptgewölbes. Beide Gewölbe besitzen dieselbe wagrechte Kämpferebene. Die Weite der Stichkappe sei $a\,c$.

Die wagrechte Projektion der Durchdringungslinie soll die gebrochene gerade Linie $a\,b\,c$ sein, deren Stücke Seiten eines gleichschenkeligen Dreieckes mit der Grundlinie $a\,c$ bilden. Die hiernach zu bestimmende Bogenlinie $a\,h\,c$ der Stichkappe ist aus Bogenschenkeln zusammengesetzt, welche im vorliegenden Falle Ellipsen angehören und, wie aus Fig. 32 hervorgeht, in leicht ersichtlicher Weise gefunden werden können. So ist z. B. $f\,h = i\,k$ und $q\,r = t\,u = m\,n$. Man erhält also für das in das Hauptgewölbe gesteckte Gewölbe einen »elliptischen Spitzbogen« als erzeugende Bogenlinie.

In der lotrechten Ebene *a b* erfcheint die Durchdringungslinie als Teil *a z* einer Ellipfe, welche im Viertel als *a z w* dargeftellt und deren halbe grofse Achfe *a v*, deren halbe kleine Achfe *v w* gleich dem Halbmeffer *x y* der Bogenlinie des Hauptgewölbes ift. Im Schnitt *f g* ift *C* die Aufrifsprojektion der Stichkappenfläche.

Fig. 32.



Werden an den Widerlagern des Hauptgewölbes die Einfügungen der Stichkappen in beftimmten, regelmäfsigen Abftänden wiederholt, fo entfpringt eine mannigfaltige Gliederung des Hauptgewölbes und gleichzeitig eine fachgemäfse Auflöfung der Maffen der Widerlagsmauern in einzelne, wenn auch kräftige, doch im allgemeinen günftig in die Erfcheinung tretende Pfeiler.

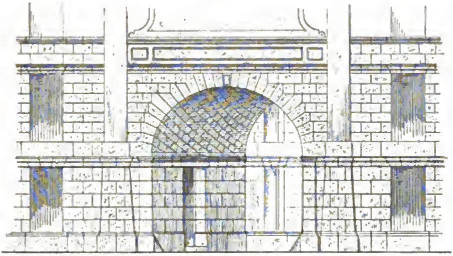
Läfst man die vorhin fchon erwähnten befonderen Anfchlufsgewölbe der Stichkappen an den Durchdringungslinien felbftändig an der inneren Laibungsfläche des Hauptgewölbes vortreten und durch das ganze Gewölbe ziehend erweitern; ordnet man, da diefe vorfpringenden Teile, wie gezeigt, elliptifchen Bogen entfprechen, mehrere folcher elliptifcher Gewölbbogen, »Rippen« genannt, in planmäfsiger und decorativer Weife für das ganze Syftem an — fo wird die Gewölbfläche in Mufter zerlegt und mit einem Netz von Rippen verfehen. Durch diefe Anordnung ift der Vorläufer fur das eigentliche »Netzgewölbe« entftanden. Treten hier die Rippen nur als ein Schmuck der Tonnengewölbe auf, fo werden diefelben bei den Netzgewölben des Mittelalters als eigentliche Träger der Füllgewölbe der einzelnen Felder oder Mafchen des Netzes in Anfpruch genommen und bieten damit ein Mittel für eine reiche und reizvolle Durchbildung gewölbter Decken nicht allein bei regelmäfsig, fondern auch, da die Netzbildung weit gehende Freiheiten geftattet, bei unregelmäfsig im Grundrifs auftretenden Räumen.

15. Schiefes Tonnengewölbe. Ift die Gewölbachfe *g h* eines Tonnengewölbes (Fig. 33) nicht rechtwinkelig zur Stirnebene *a b*, bezw. *c d* eines Gewölbes gerichtet, fo entfteht ein **fchiefes Gewölbe**. Als Mafs der Schiefe gilt die Gröfse des Winkels δ, um welchen die Richtung der Gewölbachfe von dem Lote *i k* zur Stirnebene abweicht. Wenngleich die fchiefen Gewölbe im Hochbauwefen thunlichft vermieden werden, fo können

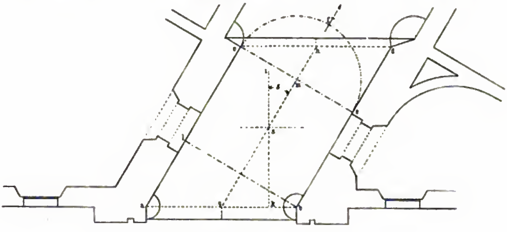
doch Fälle eintreten, wie z. B. bei Durchfahrten u. ſ. w., welche die Ausführung ſchiefer Gewölbe unter Umſtänden erforderlich machen.

Von gröſster Bedeutung für die Durchbildung der ſchiefen Gewölbe iſt die zweckmäſsige Anordnung der Lager- und Stoſsfugenflächen derſelben. Würden die Lagerfugenflächen als Ebenen behandelt, deren Kanten gerade Linien, parallel zu den Widerlagslinien *a c*, bezw. *b d* geführt, ſein ſollten, ſo würden, wenn dieſe Ebenen bis zur Gewölbſtirn treten — möchten dieſelben auch ſenkrecht auf der cylindriſchen Laibungsfläche ſtehen, deren Erzeugende der Normalſchnitt *c f e* des ſchiefen Gewölbes iſt — die aus den einzelnen Wölbſteinen gebildeten Gewölbſtücke

Fig. 33.



Ansicht



Grundriſs

über den dreieckigen Grundflächen *a b l* und *d e c* bei *b* und *c*, wo dieſelben in einer Linie endigen, kein Widerlager beſitzen, alſo, wenn nicht beſondere gekünſtelte Anordnungen und Verankerungen dieſer Gewölbſtücke eingeführt würden, nicht ſtandfähig ſein. Würden bei einer derartigen Wahl der Lagerfugenflächen die Stoſsfugenflächen in Ebenen liegend genommen, welche rechtwinkelig zu den Lagerflächen ſtehen, ſo würden auch an den Stirnen die Wölbſteine eine mangelhafte Stützfläche erhalten, während, wenn die Stoſsflächen in Ebenen genommen werden, welche parallel zur Stirnebene ſtehen, der letzte Uebelſtand wohl gehoben, aber der Mangel des Widerlagers in den Punkten *b* und *c* nicht beſeitigt würde.

Zur Vermeidung diefer Mifsftände ift von der gewöhnlichen Anordnung des beim geraden Tonnengewölbe auszuübenden Fugenfchnittes, wonach fowohl die Lagerflächen als auch die Stofsflächen in Ebenen liegen, welche je für fich rechtwinkelig zur Laibungsfläche des Gewölbes ftehen, bei den fchiefen Tonnengewölben abzuweichen, und hierfür der fog. fchiefe Fugenfchnitt in Anwendung zu bringen. Als Regel für diefen fchiefen Fugenfchnitt gilt meift die Beftimmung, dafs:

1) die Lagerfugenkanten auf der Laibungsfläche des Gewölbes fowohl rechtwinkelig zur Stirn, als auch rechtwinkelig zu jedem ferneren parallel zur Stirnebene genommenen Stirnfchnitte ftehen;

2) die Stofsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten gerichtet, alfo parallel zur Stirnlinie find;

3) die Erzeugenden der Lagerfugenflächen fenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes ftehen, und auch

4) die Erzeugenden der Stofsfugenflächen fenkrecht zur Gewölbfläche gerichtet find.

Die ftrenge Befolgung diefer Regel liefert den fog. »franzöfifchen oder orthogonalen Fugenfchnitt«, während ein Näherungsverfahren bei der Anordnung der Lagerfugen- und Stofsfugenkanten zu dem in vielen praktifchen Fällen brauchbaren und weit einfacher zu handhabenden fog. »englifchen Fugenfchnitt« führt.

Der »franzöfifche Fugenfchnitt« geftaltet fich mit Bezugnahme auf Fig. 34 in der folgenden Weife.

Der Normalfchnitt der im Grundrifs als $abcd$ gegebenen Laibungsfläche eines fchiefen Gewölbes ift als Halbkreis afe angenommen und hiernach die Abwickelung der cylindrifchen Gewölbfläche $a b_1 d_1 c$ beftimmt. Für den beliebigen Punkt p der abgewickelten Stirnlinie $a b_1$ ift $as = x$ gleich der Bogenlänge ag und $sp = y = ih$. Ift der Punkt p, entfprechend dem Punkte h, der Ausgangspunkt einer Lagerkante an der Stirn des Gewölbes, fo mufs die Lagerkante pt in der Abwickelung der Laibungsfläche in jedem ihrer Elemente rechtwinkelig zu dem ihr zugehörigen Elemente eines Stirnfchnittes (z. B. CD_1, hervorgerufen durch eine parallel zum Haupte des Gewölbes geführte lotrechte Ebene CD) ftehen, ift alfo eine krumme Linie, welche ein Syftem von gleichartigen krummen Linien (die Stirnfchnittlinien) unter demfelben Winkel, hier unter einem rechten Winkel, fchneidet, d. h. eine Orthogonaltrajektorie. Wird eine folche Trajektorie für den Scheitelpunkt l als die Kurve lv beftimmt, fo erhält man die für die Anordnung des franzöfifchen Fugenfchnittes wichtige »Scheiteltrajektorie« des fchiefen Gewölbes.

Um diefelbe durch Rechnung feftzulegen, kann man ihre im folgenden entwickelte Gleichung benutzen.

Bezeichnet r den Halbmeffer des für den Normalfchnitt ae gewählten Kreisbogens (hier ein Halbkreis), β das Bogenmafs für den Halbmeffer 1 und α den Winkel der Schiefe, fo ift, bei Annahme des rechtwinkeligen Koordinatenfyftems XY mit dem Anfangspunkte a, für einen beliebigen Punkt p (x, y) der »abgewickelten Stirnlinie« ab_1, die Abfciffe as gleich der Bogenlänge ag, d. h.

$$x = r\beta\,, \qquad 14.$$

oder, wenn der zugehörige Zentriwinkel amg des Bogens ag eine Gröfse von β Graden befitzt, fofort

$$x = \pi r \frac{\beta^0}{180^0} \qquad 15.$$

Die Ordinate $y = sp$ des betrachteten Punktes p wird, da $sp = ih$ und

$$ih = ia \,.\, \mathrm{tg}\,\alpha = (r - mi)\,\mathrm{tg}\,\alpha = (r - r\cos\beta)\,\mathrm{tg}\,\alpha$$

ift, durch

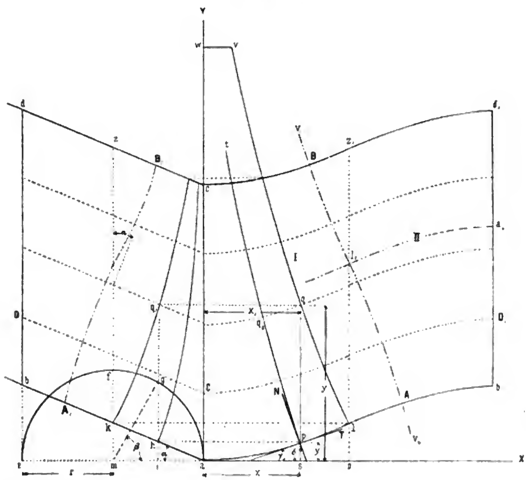
$$y = \mathrm{tg}\,\alpha\,(1 - \cos\beta)\,r \quad \ldots\ldots \quad 16.$$

beftimmt.

Für die im Punkte p beginnende Trajektorie $p\,t$ ift, wenn für diefen Kurvenpunkt nur zur Unterfcheidung von der abgewickelten Stirnlinie die Koordinaten x_1, y_1 ftatt x, y eingeführt werden, in Bezug auf die Tangente $p\,N$ im Elemente p der Trajektorie

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{d\,y_1}{-d\,x_1} = -\frac{d\,y_1}{d\,x_1} \quad \ldots\ldots \quad 17.$$

Fig. 34.



Nun ift aber, da $p\,N$ rechtwinkelig auf der im Elemente p der Stirnlinie $a\,b_1$ vorhandenen Tangente $p\,T$ ftehen foll, $\mathrm{tg}\,\gamma = \mathrm{tg}\,(90 - \delta) = \mathrm{cotg}\,\delta = \frac{1}{\mathrm{tg}\,\delta}$ oder

$$\mathrm{tg}\,\delta = \frac{1}{\mathrm{tg}\,\gamma}\,; \quad \ldots\ldots \quad 18.$$

mithin unter Benutzung von Gleichung 17

$$d\,y_1 = -\frac{d\,x_1}{\mathrm{tg}\,\gamma},$$

oder, da für den Punkt p auch $x_1 = x$, alfo $d\,x_1 = d\,x$ ift, auch

$$d\,y_1 = -\frac{d\,x}{\mathrm{tg}\,\gamma} \quad \ldots\ldots \quad 19.$$

Nun ift auch $\operatorname{tg}\gamma = \frac{dy}{dx}$ und aus Gleichung 14 folgt

$$dx = r\,.\,d\beta\,; \qquad \ldots \qquad 20.$$

ferner erhält man aus Gleichung 16: $dy = r\,\operatorname{tg}\alpha\,.\,\sin\beta\,.\,d\beta$; mithin wird

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{r\,\operatorname{tg}\alpha\,.\,\sin\beta\,d\beta}{r\,.\,d\beta} = \operatorname{tg}\alpha\,.\,\sin\beta \qquad \ldots \qquad 21.$$

Unter Einführung der Werte aus den Gleichungen 20 u. 21 in Gleichung 19 erhält man

$$dy_1 = -\frac{r\,.\,d\beta}{\operatorname{tg}\alpha\,.\,\sin\beta} \qquad \ldots \qquad 22.$$

als Differentialgleichung der Trajektorie. Durch Integration diefer Gleichung ergiebt fich

$$y_1 = -\frac{r}{\operatorname{tg}\alpha}\ \text{log. nat.}\ \frac{\operatorname{tg}\beta}{2} + \text{Konft.} \qquad \ldots \qquad 23.$$

Für die Konftante ift zu beachten, dafs für den Scheitelpunkt l

$$y = y_1 = o\,l = m\,k = r\,.\,\operatorname{tg}\alpha \qquad \ldots \qquad 24.$$

und $\sphericalangle\,\beta = \sphericalangle\,a\,m\,f = 90$ Grad wird. Da $\frac{\beta}{2} = 45$ Grad, $\operatorname{tg} 45^0 = 1$ und der natürliche Logarithmus der Zahl 1 gleich Null ift, fo folgt unter Benutzung der Ausdrücke 23 u. 24

$$r\,.\,\operatorname{tg}\alpha = \text{Konft.},$$

und hiernach nimmt Gleichung 23 die Form an:

$$y_1 = \left(\operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}\ \text{log. nat. tg}\ \frac{\beta}{2}\right) r\,, \qquad \ldots \qquad 25.$$

wodurch die Gleichung der »Scheiteltrajektorie des fchiefen Tonnengewölbes mit kreisförmigem Normalfchnitt« ausgedrückt ift.

Beifpiel. Der Winkel α der Schiefe betrage $22^0\,30'$. Alsdann ift

$$\operatorname{tg}\alpha = 0{,}4142 \text{ und } \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha} = 2{,}4143.$$

Entfprechend den Gleichungen 15, 16 u. 25 ift für einige Werte von β die folgende Tabelle für die Stirnlinie und Scheiteltrajektorie

Winkel der Schiefe $\alpha = 22^0 30'$				
β	Stirnlinie.		Scheiteltrajektorie	
	x	y	$x_1 = x$	y_1
0	0	0	0	∞
30	0,5236	0,0555	0,5236	3,5938
60	1,0472	0,2071	1,0472	1,7402
75	1,3090	0,3070	1,3090	1,0544
90	1,5708	0,4142	1,5708	0,4142
Grad	r	r	r	r

berechnet. In Fig. 34 ift $\alpha = 22^0\,30'$ und $r = 3^m$ genommen. Für $\beta = 60^0$ ergiebt fich für den Punkt q der Scheiteltrajektorie $l\,v$ demnach die Abfciffe $x_1 = a\,s =$ Bogen $a\,g = 1{,}0472\,.\,3 = 3{,}1416^{\,m}$; die Ordinate $y_1 = s\,q = 1{,}7402\,.\,3 = 5{,}2206^{\,m}$.

Ist in einem gegebenen einzelnen Falle die Scheiteltrajektorie lv in Verbindung mit der halben abgewickelten Stirnlinie al und der Widerlagslinie aY durch Zeichnung festgelegt, so kann das Flächenstück $alvw$ ohne weiteres als Lehre (Schablone) zur Bestimmung der sämtlichen Lager- und Stofsfugenkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche ab_1d_1c benutzt werden. Hierbei ist nur Folgendes zu berücksichtigen.

Die Scheitellinie lz_1 scheidet die abgewickelte Fläche ab_1c_1d in die beiden Teile I und II. Für die Lager- und Stofskanten des Teiles I gleitet die Lehre mit ihrer Seite aw stets an der Widerlagslinie ac fort, während für jene Kanten des Teiles II die Lehre an der mit ac parallelen Linie b_1d_1 fortzubewegen ist.

Ist z. B. p ein Teilpunkt der Gewölbstirn (Fugenpunkt) des Teiles I, so führt man die Lehre mit ihrer Seite aw so lange an ac entlang, bis die Kurve lv mit einem Elemente durch den Punkt p läuft, und zeichnet alsdann das auf die Fläche I von lv fallende Kurvenstück pt als Lagerkante vor. Die Stofsfugenkanten sind am Stirnbogenstücke al vorzuzeichnen. Würde etwa der Punkt q der Ausgangspunkt einer solchen Kante sein, so verschiebt man die Lehre an ac so lange, bis ein Element der Stirnlinie al durch q läuft, und zeichnet qq_0 als Stofskante ein.

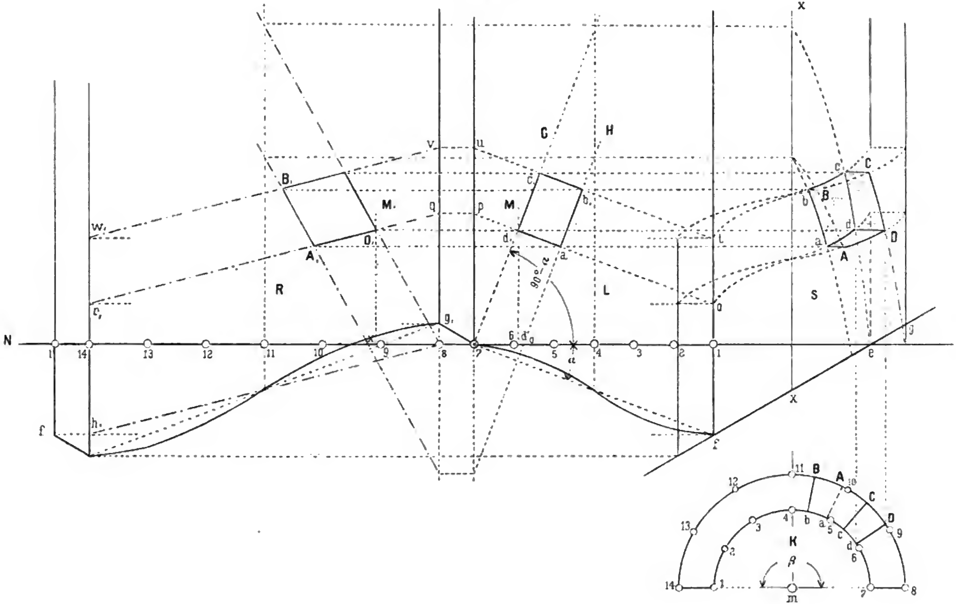
Ist dagegen A ein Fugenpunkt des Teiles II, so läfst man bei umgekehrter Lage der Lehre die Seite aw so lange an d_1b_1 gleiten, bis die Scheiteltrajektorie durch A zieht. Trifft eine solche Kante die Scheitellinie lz_1 in einem Punkte l_1, so bildet dieser die Grenze der Lagerkante des Teiles II, und von hier aus ist die weiterziehende zugehörige Lagerkante l_1B des Teiles I wiederum diesem Teile entsprechend zu zeichnen. Die Stofskanten des Teiles II sind mit Hilfe der Stirnlinie al, aber jetzt der Lage a_1l_1 gemäfs geführt, einzutragen.

Sind für die Einteilung des Gewölbes sämtliche Lager- und Stofskanten der Wölbsteine auf der abgewickelten Laibungsfläche desselben eingezeichnet, so bietet die Uebertragung derselben in die wagrechte und lotrechte Projektion des schiefen Gewölbes keine Schwierigkeiten, wie auch unter Berücksichtigung der oben für die Stellung der Erzeugenden der Lager- und Stofsflächen unter 3 u. 4 gegebenen Bestimmungen die Ausmittelung dieser Flächen leicht erfolgen kann.

Der Umstand, dafs die Winkel, welche die Scheiteltrajektorie mit den zur Kämpferlinie parallelen geraden Mantellinien der Laibungsfläche bildet, vom Scheitelpunkte aus stetig abnehmen, bis sie, da die Trajektorie sich der Kämpferlinie asymptotisch nähert (nach Gleichung 25 ist für $\beta = 0$ die Ordinate $y_1 = \infty$ gefunden) auch nach der Kämpferlinie hin immer mehr dem Werte Null zusteuern, hat zur Folge, dafs bei der Ausführung, namentlich in Werkstücken, sämtliche Steine einer Schicht verschiedene Breiten und Gestaltungen erhalten, und dafs, abgesehen von Steinen, welche symmetrisch rechts und links zur Gewölbachse bei sorgfältiger Teilung im Gewölbkörper angeordnet sind, alle Wölbsteine nach verschiedenen Abmessungen bearbeitet werden müssen, ja, dafs bei Kreisgewölben mit einigermafsen grofsem Zentriwinkel selbst mehrere nebeneinander liegende Schichten so dünn werden, dafs dieselben zu einer Schicht zu vereinigen sind, um dieselben dann in geeigneter Breite gegen eine andere breitere Schicht treten zu lassen. Derartige im Gefolge der Beobachtung des strengen Fugenschnittes stehende Anordnungen erhöhen die Schwierigkeiten der Ausführung schiefer Gewölbe in mancherlei Weise, und man bedient sich aus diesem Grunde häufig beim Fugenschnitte der schiefen Gewölbe eines Näherungsverfahrens.

Ein solches Verfahren besteht im allgemeinen darin, dafs die Trajektorien auf der Abwickelungsfläche der Gewölbelaibung durch parallele gerade Linien ersetzt werden, welche, auf die Laibung zurückgebracht, Schraubenlinien für die Lagerkanten liefern. Die Stofskanten sind in der Abwickelungsfläche wiederum rechtwinkelig zu den Lagerkanten genommene gerade Linien, welche, auf die Laibung übertragen, wiederum Schraubenlinien ergeben. Ist der Normalschnitt und nicht der

Fig. 35.



Stirnbogen des ſchiefen Gewölbes bei dieſer Fugenanordnung ein Halbkreis oder ein Kreisſegment, ſo iſt man bei ſorgfältiger Teilung der Wölbſchichten im ſtande, den ſämtlichen Wölbſteinen, mit Ausnahme der Stirn- und Kämpferſteine, kongruente Laibungsflächen zu geben.

Die Lager- und Stoſsflächen beſitzen gerade Linien als Erzeugende, welche ſenkrecht zur Laibung ſtehen. Da die Lagerkanten in der Abwickelung parallele gerade Linien ſind, ſo ſchneidet jede derſelben die zur Kämpferlinie des Gewölbes parallelen Mantellinien ſtets unter demſelben Winkel, dem »konſtanten Fugenwinkel«.

Auf dieſen Grundſätzen beruht der ſog. »engliſche Fugenſchnitt«, welcher in der Ausführung weit weniger Umſtände verurſacht als der vorhin beſprochene franzöſiſche Fugenſchnitt.

Zur näheren Erklärung des »engliſchen Fugenſchnittes« möge Fig. 35 dienen.

In derſelben iſt S ein Teil des Grundriſſes des ſchiefen Gewölbes mit der Achſe XX, L die Abwickelung der inneren, R diejenige der oberen Gewölbfläche und K der in der Ebene NN ſtehende Normalſchnitt des Gewölbes, welcher als Halbkreis gewählt iſt.

In der abgewickelten Gewölbfläche L iſt die maſsgebende Lagerkante durch den an der Stirn befindlichen Kämpferpunkt 7, welcher dem Punkte e in S auf NN entſpricht, als gerade Linie $7\,G$ rechtwinkelig zur geraden Verbindungslinie $f\,7$ der Endpunkte der abgewickelten Stirnlinie gelegt, ſo daſs $7\,G$ die Richtung aller Lagerkanten, G, H u. ſ. w., $f\,7$ die Richtung aller Stoſskanten $o\,p$, $t\,u$ u. ſ. w., wobei letztere ſonſt für die einzelnen Wölbſchichten im Verbande ſtehen, bezeichnet. Die Lagerkanten ſchneiden die zu der Kämpferlinie $f\,t$ parallelen Mantellinien unter dem konſtanten Fugenwinkel α; die Stoſskanten treffen dieſe Mantellinien unter einem Winkel von $90^\circ - \alpha$.

Durch dieſe Anordnung ergiebt ſich die abgewickelte Laibungsfläche eines Wölbſteines z. B. als das Rechteck $a_1\,b_1\,c_1\,d_1$.

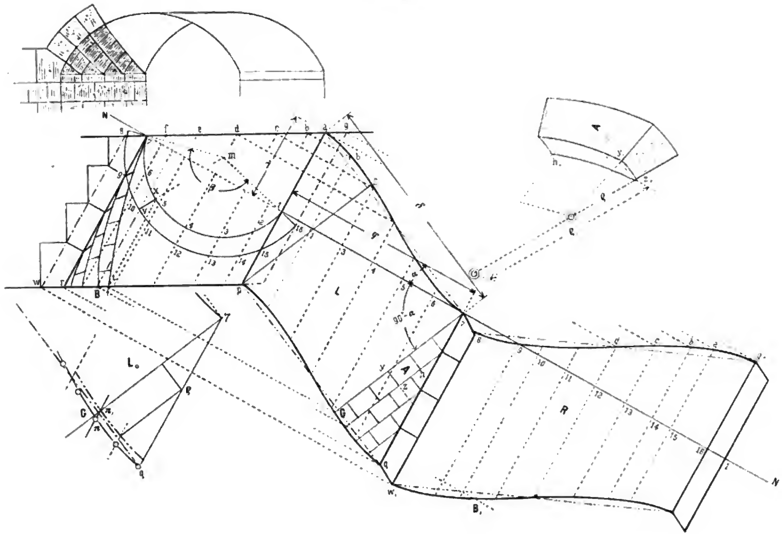
Zur Beſtimmung der Lager- und Stoſskanten auf der abgewickelten Rückenfläche R ſind dieſelben, da die Fugenflächen, welche jene Kanten enthalten, auf der inneren Gewölbfläche ſenkrecht ſtehen ſollen, von den Lager- und Stoſskanten der inneren Gewölbfläche abhängig zu machen. Der Punkt d_1, welcher der Lagerkante $7\,G$ angehört, liegt auf der zur Kämpferlinie $7\,u$ parallelen Mantellinie $M\,d_0$ der Laibungsfläche, um eine Bogenlänge $7\,d_0$ von der Kämpferlinie entfernt. Nimmt man demnach im Normalſchnitte K die zurückgeführte Bogenlänge $7\,d_0 = 7\,d$, ſo iſt, wenn in d die Normale $d\,D$ bis zum Gewölbrücken gezogen wird, durch die Bogenlänge $8\,D$ die Mantellinie auf der oberen Gewölbfläche, welche den Punkt D_1 auf der oberen Abwickelung R enthalten muſs, in ihrer ſenkrechten Projektion beſtimmt.

Nimmt man ferner die Bogenlänge $8\,x$ in der Abwickelung R gleich der Bogenlänge $8\,D$, ſo iſt die durch x parallel zu $7\,u$, bezw. $g_1\,v$ geführte gerade Linie $x\,M_1$ die geſuchte Mantellinie auf der Fläche R, in welcher D_1 enthalten iſt. Der Punkt d_1 liegt aber auch auf der geraden Stoſskantenlinie $o\,p$; die Stoſsfugenfläche ſchneidet, da ihre Erzeugenden ſenkrecht zur Gewölbfläche ſtehen, die abgewickelte Widerlagsfläche $7\,g_1\,v\,u$ in einer zu $7\,8$ parallelen Geraden $p\,q$ und ferner, der normalen Stellung jener Erzeugenden entſprechend, die abgewickelte Rückenfläche R in einer zur geraden Verbindungslinie $8\,h_1$, alſo der abgewickelten Stoſskante der oberen Gewölbfläche parallelen Geraden $q\,r_1$. Der Schnitt derſelben mit der Mantellinie $x\,M_1$ ergiebt den geſuchten Punkt D_1, und die Gerade $8\,D_1$ bezeichnet die maſsgebende Lagerkante auf der Abwickelung R_1, während die maſsgebende Richtung der abgewickelten Stoſskanten die Gerade $8\,h_1$ iſt. Auf der abgewickelten Rückenfläche iſt jedoch eine rechtwinkelige Durchkreuzung der Lager- und Stoſskanten, wie ſolches auf der Abwickelung der Laibungsfläche der Fall iſt, nicht vorhanden.

Beſtimmt man auf gleichem Wege die Lage des Punktes A_1, ſo geht durch denſelben die zu $8\,D_1$ parallel geführte Lagerkante $A_1\,B_1$, und nunmehr wird es leicht, die obere Abwickelungsfläche $A_1\,B_1\,C_1\,D_1$, welche der unteren Abwickelungsfläche $a_1\,b_1\,c_1\,d_1$ eines Gewölbſteines entſpricht, in der aus Fig. 35 erſichtlichen Weiſe zu zeichnen.

Bringt man ferner die geraden Lager- und Stoſsfugenkanten in die Grundriſsprojektion, wie aus Fig. 35 erkannt werden kann, zurück, ſo erhält man die Schraubenlinien, welche in $a\,b$ und $d\,c$ die Lagerkanten, in $a\,d$ und $b\,c$ die Stoſskanten des gewählten Wölbſteines auf der inneren Laibungsfläche, dagegen in $A\,B$ und $D\,C$ die Lagerkanten und in $A\,D$ und $B\,C$ die Stoſskanten desſelben auf der Rückenfläche des ſchiefen Gewölbes enthalten, während die geraden Linien $a\,A$, $b\,B$, $c\,C$ und $d\,D$ im Schnitte K die Grenzerzeugenden der als Schraubenflächen auftretenden Lager- und Stoſsfugenflächen ſind.

Fig. 36.



Unter Beachtung der für den engliſchen Fugenſchnitt geltenden Grundſätze iſt in Fig. 36 ein ſchiefes Gewölbe, deſſen Normalſchnitt ein Kreisbogen mit dem Zentriwinkel β iſt, in Rückſicht auf die weitere Fugenteilung dargeſtellt. Die maſsgebende Lagerkante $7\,G$ ſoll im Endpunkte 7 der Kämpferlinie $7\,q$ beginnen und auf der für die Stoſskanten maſsgebenden Richtung $7\,a$ rechtwinkelig ſtehen; gleichzeitig ſoll auch im günſtigſten Falle der auf der Stirnlinie $p\,q$ liegende Endpunkt G dieſer Lagerkante ein Teilpunkt für dieſe Gewölbſtirn werden. Die Anzahl der Wölbſteine an der Stirnfläche muſs aber, damit, wie bekannt, zu beiden Seiten des Schluſsſteines eine gleiche Zahl von Wölbſteinen vorhanden iſt, eine ungerade ſein. Teilt man nun die abgewickelte Stirnlinie unter Annahme einer günſtigen Breitenabmeſſung der Wölbſteine in eine ungerade Anzahl gleich groſser Strecken ein, ſo wird im allgemeinen ein ſolcher Gewölbteilpunkt nicht ſofort oder auch ſelbſt nicht nach mehreren Teilverſuchen mit dem Punkte G zuſammenfallen. Tritt dieſer Umſtand ein, ſo verfährt man am beſten, wenn man die Länge $7\,q$ der Kämpferlinie des Gewölbes, wie bei L_0 in Fig. 36 zu erſehen iſt, um ein an und für ſich meiſtens geringes Stück $\pi\,\pi_1$ ſo abändert, daſs die abgewickelte Stirnlinie durch den Punkt π_1 geht, welcher alsdann auch Endpunkt der maſsgebenden Lagerkante wird. Auf dieſe verlegte Stirnlinie werden die Teilpunkte des Gewölbehauptes ohne weiteres übertragen und durch dieſelben die zu $7\,\pi_1$ parallelen Lagerkanten gezogen. Die auf Verband zu ordnenden Stoſskanten richten ſich zunächſt nach den Punkten ρ, in welchen die Lagerkanten die Kämpferlinien treffen, und nunmehr iſt die Teilung der einzelnen Wölbſchichten durch Stoſskanten ſo vorzunehmen, daſs, abgeſehen von den Stirnſteinen, in allen Schichten gleich lange Wölbſteine vorkommen.

Zum ſtrengen Erzielen der gleichen Länge der Wölbſteine zwiſchen den Stirnſteinen iſt jedoch die Einteilung der abgewickelten Stirnlinie in eine ungerade Zahl gleich breiter Teile aufzugeben und durch eine derartige Einteilung der Sehne $p\,q$ der Stirnlinie zu erſetzen. Die Stirnfläche des Gewölbes erleidet hierdurch allerdings eine Zerlegung nach ungleich breiten Wölbſteinen.

Die Kämpferſteine bilden in ihrer Geſamtheit einen ſägeförmigen Anſatz für die Wölbſchichten und erhalten unter der eigentlichen nur angearbeiteten Kämpferlinie ihrer Haltbarkeit halber ſtets einen entſprechenden Anſatz (Ueberhöhung).

Die Stirnſteine bieten bei der Bearbeitung wohl einige Schwierigkeiten. Nur die rechts und links an den Häuptern ſymmetriſch liegenden Steine werden gleich groſs und ſymmetriſch geformt. Die Stirnfugen ſelbſt ſind Schnittlinien der Schraubenflächen der Lagerflächen mit der Ebene der Stirn, alſo im allgemeinen krumme Linien. Immerhin ſind alle dieſe Umſtände weit zurückſtehend gegen diejenigen, welche ſich bei der Herſtellung der ſchiefen Gewölbe nach dem franzöſiſchen Fugenſchnitte geltend machen.

Für die keilförmige Verjüngung der eigentlichen Wölbſteine erhält man als Maſs Kreisbogen mit Halbmeſſern ρ und ρ_1, welche in Fig. 36 für einen Wölbſtein A eingeſchrieben ſind. Durch die Anwendung dieſer Kreisbogen kann die Formgeſtaltung der Steine erleichtert werden.

Zur Beſtimmung des Krümmungshalbmeſſers ρ der Schraubenlinie für die Stoſsfugenkante $z_1 y_1$ am Steine A iſt die von der Geraden $7\,a$ abhängige Schraubenlinie maſsgebend. Mit Bezugnahme auf Fig. 36 iſt, wenn r den Halbmeſſer $m\,7$ des Normalſchnittes des Cylinders, auf welchem die Schraubenlinie liegt und α den Steigungswinkel $1\,7\,a$ derſelben auf der Abwickelung L bezeichnet, allgemein

$$\rho = \frac{r}{\cos \alpha^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 26.$$

Es iſt aber $\cos \alpha = \frac{\mathfrak{h}}{\mathfrak{s}}$, alſo

$$\cos \alpha^2 = \frac{\mathfrak{h}^2}{\mathfrak{s}^2} = \frac{\mathfrak{h}^2}{\mathfrak{h}^2 + \mathfrak{r}^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 27.$$

Aus den Gleichungen 26 u. 27 folgt

$$\rho = \frac{r}{\frac{\varphi^2}{\varphi^2 + \gamma^2}} = \frac{r}{\varphi^2} (\varphi^2 + \gamma^2)$$

oder

$$\rho = r \left[1 + \left(\frac{\gamma}{\varphi}\right)^2\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 28.$$

Für den Zentriwinkel β des als Kreisbogen genommenen Normalſchnittes des ſchiefen Gewölbes wird

$$\varphi = \pi r \frac{\beta^0}{180^0}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 29.$$

wodurch Gleichung 28 übergeht in

$$\rho = r + \left(\frac{180^0 . \gamma}{\pi \beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 30.$$

Der Krümmungshalbmeſſer ρ_1 der Schraubenlinie für die Lagerkante $s_1 h_1$ des Steines A ergiebt ſich mit Hilfe der für dieſe Schraubenlinie in der Abwickelung maſsgebenden Geraden $7 G$, für welche der Steigungswinkel $17 G = 90 - \alpha$ in Betracht kommt, durch den Ausdruck

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos{(90 - \alpha)^2}} = \frac{r}{\sin{\alpha^2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 31.$$

Nun iſt $\sin \alpha = \frac{\gamma}{\delta}$, alſo

$$\sin \alpha^2 = \frac{\gamma^2}{\delta^2} = \frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 32.$$

Aus der Verbindung von Gleichung 31 mit 32 folgt

$$\rho_1 = \frac{r}{\frac{\gamma^2}{\gamma^2 + \varphi^2}} = r \left[1 + \left(\frac{\varphi}{\gamma}\right)^2\right],$$

oder, wenn für φ der Wert aus Gleichung 29 eingeſetzt wird,

$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r \beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2 r. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 33.$$

Iſt der Normalſchnitt des ſchiefen Gewölbes ein Halbkreis, wofür $\beta = 180$ Grad wird, ſo erhält man für dieſen beſonderen Fall, entſprechend Gleichung 30,

$$\rho = r + \left(\frac{\gamma}{\pi}\right)^2 \frac{1}{r} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 34.$$

und gemäſs Gleichung 33

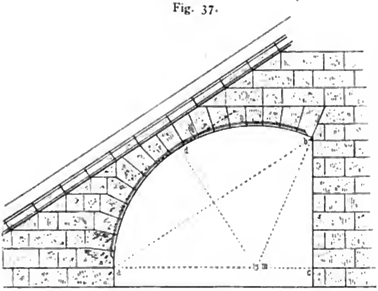
$$\rho_1 = r + \left(\frac{\pi r}{\gamma}\right)^2 r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 35.$$

Noch möge hier die Bemerkung Platz finden, daſs bei ſchiefen Gewölben die Anwendung des konſtanten Fugenwinkels eine gewiſſe Grenze hat, welche nicht überſchritten werden darf, damit das Ausbauchen der Gewölbſtirnen vermieden wird. Dieſer Punkt kann jedoch erſt bei Beſprechung der Ausführung der Tonnengewölbe (unter c) näher berührt werden, wobei dann ferner unter Berückſichtigung des zur Verwendung gelangenden Wölbmaterials auch noch die Verfahren mitgeteilt werden ſollen, wonach in vereinfachter Weiſe die Herſtellung von ſchiefen Gewölben für etwa vorzunehmende Deckenbildungen erfolgen kann.

16. Einhüftiges Tonnengewölbe.

Liegen die wagrechten Kämpferlinien eines Tonnengewölbes (Fig. 37) in zwei verſchiedenen wagrechten Ebenen, ſo heiſst dasſelbe kurz ein **einhüftiges Gewölbe**.

Fig. 37.



Der Abſtand *bc* jener wagrechten Ebenen entſpricht der »Hüfthöhe«, während die wagrechte Entfernung *ac* der durch *a* und *b* gehenden lotrechten Ebenen die Spannweite des Gewölbes ergiebt.

Als Erzeugende der einhüftigen Gewölbe kann irgend eine geſetzmäſsig gebildete ebene Kurve benutzt werden. Bei gegebenen Kämpferpunkten *a* und *b* kann in vielen Fällen ein Kreisbogen Verwendung finden, der im tiefſtgelegenen Kämpferpunkte *a* eine lotrechte Tangente beſitzt und ſonſt die gerade Verbindungslinie *ab* als Sehne erhält. Ein derartiger um *m* zu beſchreibender, leicht zu beſtimmender Kreisbogen hat in ſeinem Halbierungspunkte *d* eine parallel zu *ab* gerichtete Tangente, welche als allgemeine Richtungslinie für den vom Gewölbe getragenen Ueberbau gelten kann.

Nicht immer kann jedoch der Punkt *d* Halbierungspunkt der beabſichtigten erzeugenden Bogenlinie oder die allgemeine Richtungslinie nicht parallel der Verbindungslinie *ab* bleiben, ſo daſs ein Kreisbogen nicht mehr ohne weiteres als günſtig für die Erzeugende des Gewölbes erſcheint. Da auſserdem in mancher Beziehung der Anſatz der Erzeugenden in den Kämpferpunkten mit lotrechter Tangente erwünſcht iſt, ſo ſetzt man an die Stelle des Kreisbogens als Erzeugende ſehr oft elliptiſche Bogen oder Korbbogen.

In Fig. 38 iſt die Erzeugende *acb* aus zwei Viertelellipſen *ac* und *bc* zuſammengeſetzt, welche in *a* und *b* lotrechte Tangenten, in dem ſonſt zwiſchen *a* und *b* beliebig gewählten Punkte *c* eine gemeinſchaftliche Tangente *cx*, welche parallel zu *ab* zieht, beſitzen. Die Punkte der einzelnen elliptiſchen Bogen ſind durch die ſog. Vergatterung ermittelt, wobei der um *b* beſchriebene Viertelkreis *wx*, deſſen Halbmeſſer gleich der Strecke $c\gamma$ auf der durch den gegebenen Punkt *c* geführten Lotrechten *zu* iſt, für die lotrechten Ordinaten der Ellipſenſtücke maſsgebend wird.

Teilt man die Strecken γa, γb und den Halbmeſſer *bw* des Viertelkreiſes *wx* proportional, ſo gehören den entſprechenden proportionalen Teilpunkten die aus dem Winkelkreiſe zu entnehmenden lotrechten Ordinaten den geſuchten Ellipſenpunkten an.

Die proportionale Teilung erfolgt einfach mit Hilfe des Dreieckes *aub*, deſſen Spitze *u* beliebig auf der durch *c* geführten Lotrechten *zu* angenommen iſt, und mittels des Dreieckes *bwv*, deſſen Seite *bv* auf der Lotrechten *yb* gleich der Strecke γu gemacht wurde.

Zieht man durch den beliebig genommenen Punkt β_1 der Strecke γb die Lotrechte *gf*, wobei *f* auf *ub* liegt, alsdann durch *f* die Gerade *he* parallel zu *ab*, durch *e* die Lotrechte *ed*, ſo iſt $\beta_{,,}$ ein dem Teilpunkte $\beta_{,}$ der Strecke γb entſprechender proportionaler Teilpunkt der Strecke γa.

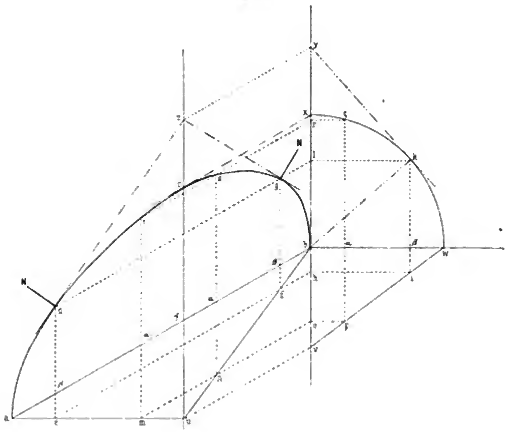
Führt man durch *h* den Strahl *hi* parallel *bw* und durch *i* die Lotrechte *ik*, ſo iſt $\mathfrak{z}$ wiederum ein Punkt, welcher *bw* in demſelben Verhältniſſe teilt, wie der Punkt β_1 die Strecke γb und der Punkt $\beta_{,,}$ die Strecke γa zerlegt. Die Ordinate $\mathfrak{z}k$ des Viertelkreiſes *wx* liefert die Länge der lotrechten Ordinaten $\beta_{,}g$ und $\beta_{,,}d$ für die geſuchten Punkte *d* und *g* der zugehörigen Viertelellipſen. Auf gleiche Weiſe ſind noch die Punkte *s* und *t* beſtimmt.

Um die Normalen in einzelnen Ellipfenpunkten feftzulegen, verfährt man am einfachften wie folgt.

Soll dies z. B. für die einander zugeordneten Punkte *g* und *d* gefchehen, welche dem Punkte *k* des Viertelkreifes *wx* entfprechen, fo zieht man in *k* die Kreistangente bis zum Punkte *y* auf der Lotrechten *by* und nimmt γz auf der die beiden Viertelellipfen trennenden Lotrechten *zu* gleich der Strecke *by*. Die Strahlen *zg* und *zd* find Tangenten der zugehörigen Viertelellipfen in *g* und *d*. Das in *g* zu *zg* errichtete Lot *gN* ift die Normale in *g*, während das in *d* auf *zd* errichtete Lot dN_1 die Normale im Ellipfenpunkte *d* wird.

Ift der Punkt γ der durch *c* geführten Lotrechten *zu* der Halbierungspunkt der geraden Verbindungslinie *ab* der Kämpferpunkte, fo wird die Bogenlinie *acb* eine

Fig. 38.



halbe Ellipfe mit den halben konjugierten Durchmeffern $\gamma a = \gamma b$ und γc und mit γ als Mittelpunkt.

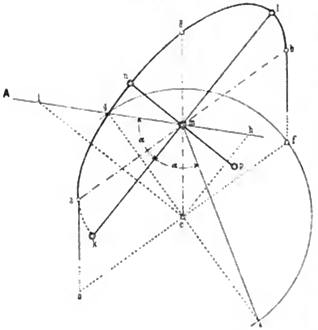
In folchem Falle ift die Ermittelung der Ellipfenpunkte ebenfo zu bewirken, wie in Fig. 38 gezeigt wurde. Häufig ift es jedoch ratfam, die Ellipfe mit Benutzung ihrer reellen Achfen zu zeichnen, deren Beftimmung in folgender Weife gefchehen kann [2]).

Es mögen in Fig. 39 *ab* als Verbindungslinie der Kämpferpunkte, $ma = mb$ und $mc = md$ als halbe konjugierte Durchmeffer der Ellipfe gegeben fein; gefucht werden die reellen Achfen *kl* und *np* derfelben.

Man ziehe durch *c* die Gerade *of* parallel zu *ab* und nehme $cf = co$ gleich dem halben konjugierten Durchmeffer *ma*; alsdann befchreibe man um *c* mit dem Halbmeffer *cf* einen Kreis, welcher das in *c* auf *of* errichtete Lot in *g* und *e* trifft; verbinde den bekannten Mittelpunkt *m* der Ellipfe mit dem Punkte *g* durch den Strahl *A* und mit *e* durch die Gerade *me* und halbiere den Winkel *gme*; als-

[2]) Siehe: Jacob Steiner's Vorlefungen über fynthetifche Geometrie. Die Theorie der Kegelfchnitte, geftützt auf projectifche Eigenfchaften. Bearbeitet von H. Schröder. Leipzig 1867.

Fig. 39.



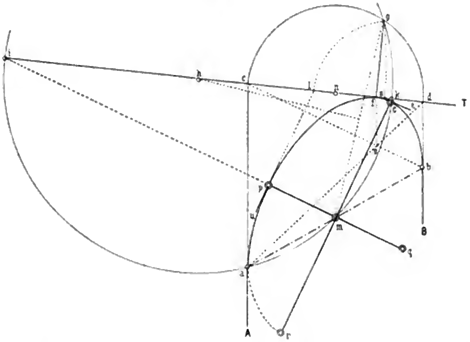
dann giebt die Halbierungslinie $m\,k$ dieses Winkels die Lage der einen reellen Achse und das in m auf $m\,k$ errichtete Lot $n\,m\,p$ die Lage der zweiten reellen Achse der Ellipse.

Um die Gröfse derselben zu finden, ziehe man $c\,h$ parallel zu $m\,k$ und $c\,i$ parallel zu $p\,n$; alsdann wird $m\,h = m\,p = n\,m$ gleich der halben Achse $n\,p$ und $m\,i = m\,k = m\,l$ gleich der halben Achse $k\,l$. Mit Hilfe dieser beiden reellen Achsen ist die Ellipse nach bekanntem Verfahren zu konstruieren.

Recht oft find die beiden lotrechten Tangenten der festen Kämpferpunkte a und b (Fig. 40), sowie eine in bestimmter Richtung vorgeschriebene dritte Tangente für die elliptische Erzeugende des einhüftigen Gewölbes gegeben, und hiernach ist die zugehörige Kurve zu ermitteln. Mit Anwendung der Sätze der synthetischen Geometrie kann man sich in solchem Falle der in Fig. 40 gegebenen Lösung bedienen.

Die beiden durch die gegebenen Kämpferpunkte a und b gehenden Lotrechten A und B sollen zwei parallele Tangenten der gesuchten Ellipse sein; die dritte veränderliche, hier gegebene, Tangente sei T. Zur Bestimmung des Berührungspunktes f dieser Tangente mit der Ellipse verbinde man die

Fig. 40.



Schnittpunkte c und d des Strahles T mit den Tangenten A und B durch die geraden Linien $a\,d$ und $b\,c$ und ziehe durch den Schnittpunkt e derselben den Strahl $e\,f$ parallel zu A, bezw. B; alsdann ist f der gesuchte Berührungspunkt. Errichtet man in f das Lot auf T und beschreibt man über $c\,d$ einen Halbkreis um n, so wird auf jenem Lote ein Stück $f\,g$ abgeschnitten, welches für die weitere Untersuchung von Wichtigkeit ist (Potenz der Involution).

Legt man durch den Punkt m, welcher Mittelpunkt der Ellipse ist, und durch den Punkt g einen Kreis, dessen Mittelpunkt h auf dem Strahle T liegt und welcher diesen Strahl in den Punkten i und k

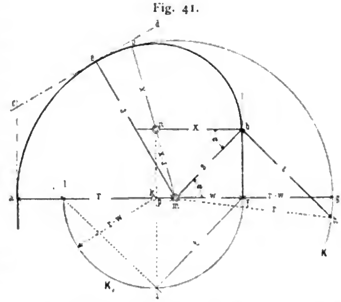
ſchneidet, ſo beſtimmen die von i durch m und von k ebenfalls durch m geführten geraden Linien $i q$ und $k r$ die Lage der reellen Achſen der geſuchten Ellipſe.

Um die Gröſse der Achſen zu erhalten, beſchreibt man um i mit dem Halbmeſſer $i g$ den Kreisbogen $g s$ bis zum Punkte s auf T und zieht $s t$ parallel zu $i m$, bis $m k$ im Punkte o geſchnitten wird; alsdann iſt $m o = m r$ die Länge eine halben Achſe der Ellipſe. Beſchreibt man ferner um k mit dem Halbmeſſer $k g$ einen Kreisbogen, bis derſelbe den Strahl T in l trifft und zieht man $l u$ parallel zu $k m$, bis die Gerade $i m$ in p getroffen wird, ſo iſt $m p = m q$ die Länge der zweiten Halbachſe.

Nach Feſtlegen dieſer reellen Achſen erfolgt das Zeichnen der erzeugenden elliptiſchen Bogenlinie $a p f o b$ des einhüftigen Gewölbes.

Statt einer elliptiſchen Bogenlinie läſst ſich auch die Parabel als Erzeugende eines einhüftigen Gewölbes verwenden. Das Zeichnen derſelben kann in der in Fig. 17 (S. 14) angedeuteten Weiſe geſchehen, wenn in a und b bei verſchiedener Höhenlage derſelben auch lotrechte Tangenten angenommen werden und, der Lage der Punkte a, b und c entſprechend, die für die Ermittelung der Parabel maſsgebenden Dreiecke $a d c$ und $b d c$ benutzt werden.

Fig. 41.

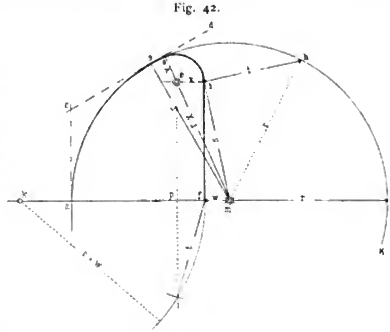


Statt der erwähnten Kegelſchnittlinien wählt man, wie früher ſchon erwähnt, um in leichter Weiſe eine normale Fugenſtellung zu erhalten, auch für einhüftige Gewölbe eine Korbbogenlinie als Erzeugende, die dann aus zwei oder mehreren Kreisbogen zuſammengeſetzt iſt.

In Fig. 41 u. 42 ſind nach einer und derſelben Grundlage Korbbogen aus 2 Mittelpunkten beſchrieben, welche in den meiſten Fällen in ihrer Konſtruktion möglich ſind.

Die Kämpferpunkte a und b mit ihren zugehörigen lotrechten Tangenten, ſowie eine beliebige Gerade $c d$, welche Tangente des Korbbogens ſein ſoll, ſind gegeben.

Fig. 42.



Nimmt man $a c = c e$ und errichtet in e das Lot $e m$, ſo ſchneidet dasſelbe die durch a geführte Wagrechte im Punkte m, welcher offenbar Mittelpunkt eines Kreiſes iſt, für welchen $a c$ und $c d$ Tangenten ſind und deſſen Halbmeſſer $m a = r$ eine nun bekannte Länge erhalten hat. Der Halbmeſſer $b n = x$ des in b beginnenden Kreisbogens, welcher in dieſem Punkte eine lotrecht gerichtete Tangente haben ſoll, ſowie der Mittelpunkt n desſelben und ſein Vereinigungspunkt o mit dem erſten Kreisbogen, woſelbſt für beide Kreisbogen eine gemeinſchaftliche Tangente auftreten muſs, ſind unbekannt.

Um zunächſt die Gröſse des Halbmeſſers x zu finden, beſchreibt

man um m mit dem Halbmesser $m\,a$ einen Kreisbogen K, welcher die verlängerte Gerade $a\,m$ im Punkte g schneidet, zieht die Linie $m\,b$ und hierzu in b das Lot $b\,h$, dessen Endpunkt h dem Kreise K angehört. Nimmt man alsdann $f\,k = f\,g$ als Halbmesser eines um k beschriebenen Kreises K_1, trägt $f\,i = b\,h$ von f als Sehne desselben ein und fällt man von i das Lot $i\,p$ auf $a\,f$, so ist $f\,p$ gleich dem gesuchten Halbmesser x.

Wird nunmehr in b rechtwinkelig zur lotrechten Tangente $b\,f$ die Strecke $b\,n = x$ angetragen, so ist n der Mittelpunkt des vom Kämpferpunkte b ausgehenden Kreisbogens. Zieht man endlich den gehörig verlängerten Strahl $m\,n$, so trifft derselbe den ersten vom Kämpferpunkte a ausgehenden Kreis K im Punkte o, welcher Vereinigungspunkt für die beiden aus m und n beschriebenen, den gesuchten Korbbogen bildenden Kreisbogen $a\,o$ und $o\,b$ wird.

Die gegebene Konstruktion ist durch folgende, den Bezeichnungen in Fig. 41 u. 42 entsprechende Beziehungen begründet. In Fig. 41 liegt der Mittelpunkt m innerhalb der Spannweite $a\,f$ des Gewölbes. Im schiefwinkeligen Dreiecke $m\,b\,n$ ist

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2\,s\,x\,.\cos\alpha,$$

oder, da $\cos\alpha = \frac{w}{s}$, auch

$$(r - x)^2 = s^2 + x^2 - 2\,w\,x,$$

d. h.

$$2\,(r - w)\,x = r^2 - s^2.$$

Da ferner $r^2 - s^2 = t^2$, so ergiebt sich

$$2\,(r - w)\,x = t^2$$

oder

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2\,(r - w)}, \qquad 36.$$

wonach t als mittlere Proportionale zwischen x und $2\,(r - w)$ auftritt.

Die beiden rechtwinkeligen Dreiecke $f\,p\,i$ und $f\,i\,l$ sind einander ähnlich, und es ist

$$\frac{f\,p}{f\,i} = \frac{f\,i}{f\,l},$$

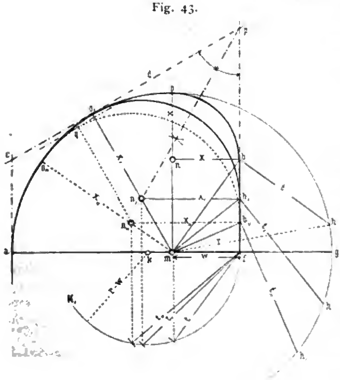
d. h. entsprechend der Gleichung 36

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2\,(r - w)}.$$

In Fig. 42 liegt der Mittelpunkt m des Kreises K außerhalb der Spannweite $a\,f$; mithin wird die Strecke w negativ, und man erhält unter Einführung von $-w$ statt w in Gleichung 36 für diesen Fall

$$\frac{x}{t} = \frac{t}{2\,(r + w)}, \qquad 37.$$

Fig. 43.



wonach der um k zu beschreibende Kreis K_1 einen Halbmesser $f\,k = r + w$ zu erhalten hat, während die übrigen Anordnungen sich nicht ändern.

In Fig. 43 sind für verschiedene Hüfthöhen $f\,b$, $f\,b_1$ u. s. f. nach dem angegebenen Verfahren die zugehörigen Korbbogen aus 2 Mittelpunkten gezeichnet. Hierbei mag bemerkt werden, dass eine Grenzlage für den Kämpferpunkt b in einer Hufthöhe $f\,b_1$ entsteht, sobald der Mittelpunkt n_1 des von b_1 ausgehenden Kreisbogens der Schnittpunkt der Halbierungslinie des Winkels $c\,p\,f$, welchen die beiden Tangenten $c\,d$ und $f\,b$ bilden, mit der Senkrechten $m\,o_1$ auf $c\,d$ wird. Ist die Hüfthöhe kleiner als $f\,b_1$, z. B. gleich $f\,b_{\prime\prime}$, so tritt eine parallele Verschiebung der

urſprünglichen Tangente *cd* nach *q* ein, und der Vereinigungspunkt $o_{,,}$ der beiden Korbbogenkreiſe liegt unterhalb von *q*.

Bei Korbbogen für einhüftige Gewölbe, mit mehr als 2 Mittelpunkten, z. B. aus 4 derſelben, beſchrieben, läſst ſich recht oft die in Fig. 44, 45 u. 46 angegebene Konſtruktion verwerten.

Fig. 44.

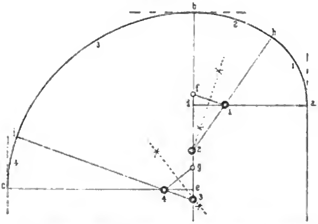
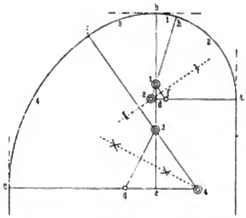


Fig. 45.

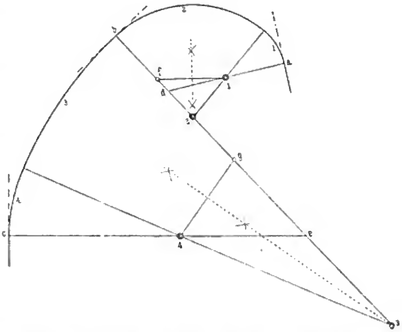


Gegeben ſind 3 als Tangenten geltende gerade Linien mit den Berührungspunkten *a*, *b* und *c*. Man ziehe in dieſen Punkten winkelrechte Strahlen zu den Tangenten, bis dieſelben, gehörig erweitert und der Reihe nach zu Paaren genommen, in *d* und *e* ſich ſchneiden.

Hierdurch entſtehen zwei Gruppen von Strecken, nämlich Gruppe *a a* und *b d*, ſowie Gruppe *b e* und *c e*. Bei der erſten Gruppe wähle man auf der gröſseren Strecke derſelben einen feſten Mittelpunkt *1* für den erſten Kreisbogen, deſſen Anfangspunkt der dieſer Strecke zugehörige Berührungspunkt iſt.

Die Wahl dieſes Mittelpunktes iſt nur in der Weiſe beſchränkt, daſs der Halbmeſſer des erſten Kreiſes ſtets kleiner genommen werden ſoll als die kürzere Strecke der in Betracht gezogenen Gruppe. Die Länge des ſo feſtgeſtellten erſten Halbmeſſers wird vom Berührungspunkte auf der kürzeren Strecke bis *f* abgetragen, auf der Mitte der Verbindungslinie *1 f* das Lot errichtet, welches die erweiterte kürzere Strecke im Punkte *2* als Mittelpunkt des zweiten Kreisbogens ſchneidet. Eine durch die Mittelpunkte *1* und *2* gelegte gerade Linie bildet den Scheideſtrahl der zu vereinigenden beiden Kreisbogen der erſten Gruppe. Für die zweite Gruppe iſt nach denſelben Grundſätzen zu verfahren.

Fig. 46.



So ſind auch bei der ſehr willkürlich genommenen Lage von 3 geraden Linien, welche nur im allgemeinen als Tangenten dem Laufe einer nach oben gekrümmten Kurve angepaſst ſind, mit den darauf beliebig feſtgelegten Berührungspunkten *a*, *b*, *c* (Fig. 46) die 4 Kreisbogen *1* bis *4* zur Bildung eines einhüftigen Korbbogens in der angegebenen Weiſe folgendermaſsen beſtimmt.

Die zu den Tangenten in *a* und *b* geführten Normalen der erſten Gruppe ſchneiden ſich im Punkte *d*. Die Strecke *a d* iſt gröſser als *b d*; mithin iſt der Mittelpunkt *1* des erſten Kreiſes *1* im Abſtande *a 1*, kleiner als *b d* gewählt, auf *a d* angenommen.

Hierauf ift $bf = a1$ abgetragen, in der Mitte der Geraden $f1$ das Lot errichtet, welches erweitert den verlängerten Strahl bd in 2 fchneidet. 2 ift Mittelpunkt des Kreifes 2. Die durch 2 und 1 geführte Gerade fcheidet beide Kreife.

Die in b und c geführten Normalen der zweiten Gruppe treffen fich im Punkte e. Da ce gröfser ift als be, fo ift der Mittelpunkt 4 auf der gröfseren Strecke ce angenommen und dabei $c4$ kleiner als be gewählt. Nunmehr ift $bg = c4$ auf be abgetragen, wiederum in der Mitte der Verbindungslinie $g4$ das Lot errichtet, welches verlängert die entfprechend fortgeführte Normale be im Punkte 3, d. i. im Mittelpunkte des Kreifes 3 trifft. Der Scheidelftrahl der Kreife 3 und 4 ift die durch die Punkte 3 und 4 geführte Gerade.

b) Stärke der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager.

Beim Anfertigen des Entwurfes eines Tonnengewölbes, welches als Decke für einen gegebenen Raum ausgeführt werden foll, tritt die Frage in den Vordergrund, welche Stärke dem Gewölbe und feinen Widerlagern gegeben werden mufs, damit diefe Baukörper eine fichere und dauernde Standfähigkeit befitzen. Bei der Beftimmung diefer Stärken ift nicht aufser acht zu laffen, dafs der Materialaufwand für die Gewölb- und Widerlagsmaffen ohne Schädigung der Stabilität der ganzen Wölbanlage möglichft klein wird. Aus diefem Grunde wird zunächft die geringfte Weite des zu überdeckenden Raumes als Spannweite für das Gewölbe angenommen, während die längeren Begrenzungen desfelben den Widerlagern zugewiefen werden. Sodann ift die gröfste Belaftung feftzufetzen, welche aufser dem Eigengewicht der Konftruktion im ungünftigften Falle auf das Gewölbe kommen foll, und endlich ift die Befchaffenheit des Materials in Hinficht auf fein Gewicht und namentlich auf feine Feftigkeit gegen Zerdrücken forgfältig in Betracht zu ziehen. 17. Stärke unbelafteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Wenngleich eine grofse Zahl von empirifchen Regeln für die Beftimmung der Stärken der Tonnengewölbe und ihrer Widerlager aufgeftellt worden ift, fo haben alle diefe Regeln doch nur innerhalb gewiffer Grenzen eine Berechtigung für ihre Anwendung; aufserhalb diefer Grenzen können fie fogar zu einem Irrtum Veranlaffung geben.

Für das Feftlegen der Form der Gewölblinie, für die Beftimmung des Fugenfchnittes, der Dicke des Gewölbkörpers und der Stärke des Widerlagers find in jedem befonderen Falle die Wirkungen der im Gewölb- und Widerlagskörper thätigen Kräfte, foweit und fo fcharf als folches möglich, zu ergründen, um hierdurch die Ueberzeugung von der Feftigkeit und Sicherheit des Baukörpers in allen feinen Teilen zu gewinnen.

Diefe Aufgabe der ftatifchen Unterfuchung der Gewölbe fällt der »Gewölbetheorie« anheim. Die Bekanntfchaft mit derfelben mufs hier vorausgefetzt und in diefer Beziehung auf Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Abt. II, Abfchn. 4[3]) diefes »Handbuches« verwiefen werden.

Wenngleich in den Abhandlungen über »Gewölbetheorie« wefentlich die im Ingenieurbauwefen vorkommenden Gewölbe in Betracht gezogen werden, fo ift dennoch zu beachten, dafs diefe Theorie auch für die Gewölbe im Hochbau von grofsem Werte ift und in ihren Ergebniffen immer mehr und mehr Verwendung finden follte. Auf einige wichtige diefer Ergebniffe möge im folgenden hingewiefen werden[4]).

[3]) 2. u. 3. Aufl.: Abt. II, Abfchn. 5.

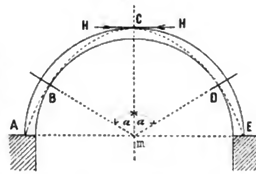
[4]) Siehe auch: SCHEFFLER, H. Theorie der Gewölbe, Futtermauern und eifernen Brücken. Braunfchweig 1857. RITTER, A. Lehrbuch der Ingenieurmechanik. Hanuover 1876.

Ein unbelaftetes halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit konzentrifcher Rückenlinie ift, wenn von der Bindekraft des Mörtels in den Wölbfteinfugen abgefehen wird, eben noch im Zuftande des Gleichgewichtes, fobald die Gewölbftärke $d = \frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite s beträgt, oder, da s gleich dem Zweifachen des Halbmeffers r der Erzeugenden diefes Gewölbes ift, wenn

$$d = \frac{2\,r}{17{,}544} \text{ oder rund } d = \frac{r}{9}$$

wird.

Fig. 47.

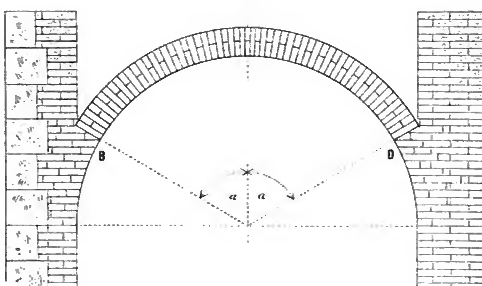


Bei diefer Abmeffung verläuft die dem möglich kleinften Horizontalfchube H entfprechende Mittellinie des Druckes (Stützlinie, Drucklinie) nach Fig. 47 ganz innerhalb der Stirnfläche als Kurve $ABCDE$, welche in den Punkten B und D die innere Wölblinie berührt, mit der Rückenlinie die Punkte ACE enthält und an diefen Stellen die fog. Bruchfugen kennzeichnet. Der Bruchwinkel α beträgt 54 Grad 10 Minuten oder nahezu 60 Grad mit dem Scheitellote Cm; die Kurve felbft nähert fich ftark einer Parabel.

Auch bei einem belafteten halbkreisförmigen Tonnengewölbe, bei welchem die Gewölbzwickel ausgemauert oder bei welchem noch aufserdem eine Uebermauerung, bezw. eine gleichförmig verteilte Ueberlaft angebracht ift, ergiebt fich die Lage der erwähnten Bruchfuge durch einen Bruchwinkel von nahezu 60 Grad.

Hieraus folgt für die praktifche Ausführung der Halbkreis-Tonnengewölbe fchon die beachtenswerte Anordnung, dafs zweckmäfsig die unteren Wölbftücke BA und

Fig. 48.



DE gar nicht als Gewölbe in Mitleidenfchaft gezogen, vielmehr mit dem Widerlagskörper vereinigt und in wagrechten (Fig. 48) oder noch beffer in winkelrecht zur Kurve AB, bezw. DE gerichteten Schichten (Fig. 49 u. 50) gemauert werden. Durch diefe Konftruktion wird die Spannweite des Gewölbes vermindert; die Gewölbdicke wird fich dadurch geringer geftalten und die Widerlagsftärke fich ebenfalls

verkleinern. Da die Form der Mittellinie des Druckes von der Form der Gewölblinie wefentlich mit abhängt, die erftere aber fich bei Halbkreisgewölben von der Parabel nicht weit entfernt, fo folgt, dafs bei einer Parabel als Gewölblinie von

Fig. 49.

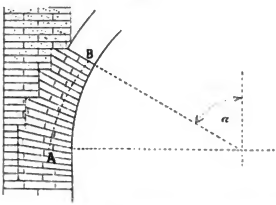
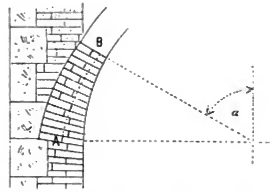


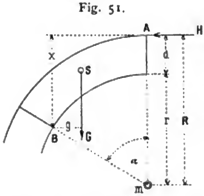
Fig. 50.



vornherein auch eine günftige Mittellinie des Druckes in einem Parabel-Tonnengewölbe entfpringen wird (Art. 8, S. 13).

Von Wichtigkeit für die Beftimmung der Gewölbftärke und fpäter der Dicke des Widerlagers ift die Ermittelung der Gröfse des Gewölbfchubes *H*. Für eine beliebige, unter einem Winkel α zur Wagrechten geneigte Fuge *B* (Fig. 51) eines unbelafteten Halbkreisgewölbes hat der in der Scheitelfuge wirkende wagrecht gerichtete Gewölbfchub *H* **mindeftens** einen Wert, der fich nach den Bezeichnungen in Fig. 51 berechnen läfst aus der Gleichung 367 in Teil I, Band I, zweite Hälfte (S. 451[5]) diefes »Handbuches«

Fig. 51.



$$H = \frac{G g}{x} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 38.$$

Ift nun, wie in üblicher Weife angenommen wird, die Tiefe des Gewölbes rechtwinkelig zur Zeichenfläche gleich der Längeneinheit des Zeichenmafsftabes und ferner das Gewicht der Raumeinheit des Wölbmaterials gleich der Krafteinheit, fo läfst fich das Gewicht *G* des Ringftückes *A B* gleich dem Flächeninhalte diefes Stückes fetzen, d. h.

$$G = \frac{R^2 - r^2}{2} \alpha \text{ Quadr.-Met.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 39.$$

Da nun die wagrechte Entfernung *g* des Schwerpunktes *S* des Ringftückes vom Punkte *B* fich als

$$g = r \,.\, \sin \alpha - \frac{2}{3} \,.\, \frac{R^3 - r^3}{R^2 - r^2} \,.\, \frac{\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2}{\frac{\alpha}{2}} \text{ Met.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 40.$$

beftimmt und da ferner der lotrechte Abftand *x* des Angriffspunktes *A* des Gewölbfchubes *H* vom Fugenpunkte *B* als

$$x = (\mathrm{R} - r \,.\, \cos \alpha) \text{ Met.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 41.$$

[5]) 2. Aufl.: Art. 274 (S. 258). — 3. Aufl.: Art. 280 (S. 294).

erſcheint, ſo erhält man, wenn in Gleichung 40

$$\left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1 - \cos \alpha}{2}$$

geſetzt wird, unter Einführung der Werte 39, 40 u. 41 in Gleichung 38,

$$H = \frac{(R^2 - r^2)\,\frac{r\alpha \,.\, \sin \alpha}{2} - (R^3 - r^3)\,\frac{1 - \cos \alpha}{3}}{R - r \,.\, \cos \alpha} \text{ Quadr.-Met.} \quad . \quad . \quad 42.$$

Es ſei $\alpha = 60^0$, alſo näherungsweiſe dem vorhin ermittelten Bruchwinkel entſprechend; alsdann wird Bogen $\alpha = 1{,}0472$, $\sin \alpha = \sin 60^0 = 0{,}866$ und $\cos \alpha = \cos 60^0 = 0{,}5$, mithin

$$H = \frac{0{,}4534\,(R^2 - r^2)\,r - 0{,}166\,(R^3 - r^3)}{R - 0{,}5\,r} \text{ Quadr.-Met.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 43.$$

Wäre nun die Scheitelſtärke d des Gewölbes bekannt, ſo würde ſich die Gröſse von H zahlenmäſsig feſtſtellen laſſen, da bei gegebenem r der Wert $R = r + d$ wird. Andererſeits würde dann auch bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, z. B. $= 1^{\text{m}}$, die Fläche der gedachten Scheitelfuge gleich d Quadr.-Met. ſein, und endlich würde, wenn die Gröſse H noch mit 1 multipliziert wird, dieſelbe auch ſofort als H Kub.-Met. ausgedrückt werden können. Denkt man ſich dieſe H Kub.-Met. als eine Steinſäule des Wölbmaterials auf der Flache d Quadr.-Met. angebracht und ermittelt man bei dem als bekannt geltenden Eigengewicht γ Kilogr. einer Raumeinheit des Wölbmaterials das Gewicht der erwähnten Steinſaule, ſo iſt

$$\frac{H}{d}\,\gamma \text{ Kilogr.}$$

als mittlerer Druck für die Flächeneinheit der gedachten Scheitelfuge anzuſehen.

Der Wert $\frac{H}{d}$ iſt, wie zahlreiche Berechnungen an vielen ausgeführten Gewölben, namentlich bei Bruckengewölben, ergeben haben, durchaus nicht konſtant; im Gegenteil iſt derſelbe, wie *Scheffler* nachgewieſen hat, ſehr veränderlich. Er nimmt mit dem Wachſen des Gewölbſchubes zu, aber derart, daſs $\frac{H}{d}$ bei feſtem Wölbmaterial bei kleinen Gewölben dem Gewichte einer Steinſäule von etwa 3^{m} Höhe, bei den gröſsten Gewölben dem Gewichte einer Steinſäule von etwa 60^{m} Höhe entſpricht.

Iſt z. B. für ein ſehr groſses Gewölbe $H = 90$ gefunden, ſo müſste, um die Höhe 60^{m} der entſprechenden Steinſäule nicht zu überſchreiten,

$$\frac{H}{d} = 60 \quad \text{oder} \quad d = 1{,}5^{\text{m}}$$

werden. Alsdann iſt, wenn 1^{cbm} dieſer Steinſäule 2200^{kg} wiegt, die mittlere Preſſung $\frac{90 \,.\, 2200}{1{,}5 \,.\, 1} = 132000^{\text{kg}}$ für 1^{qm} oder $13{,}2^{\text{kg}}$ für 1^{qcm}, während bei einem kleineren Gewölbe, für welches $H = 2$ und $d = 0{,}3$ ſich ergeben hat, die mittlere Preſſung $= \frac{2 \,.\, 2200}{0{,}3 \,.\, 1} = 11333^{\text{kg}}$ für 1^{qm} oder nur $1{,}1333^{\text{kg}}$ für 1^{qcm} wird.

Im letzteren Falle wäre die Höhe x der Steinſäule zu finden aus $0{,}3 \,.\, 1 \,.\, x = 2 \,.\, 1$, d. h. $x = 6{,}66^{\text{m}}$.

Bei dem zur Widerlagsfuge von der Stärke d_1 ſenkrecht gerichteten Gewölbdrucke N treten in Rückſicht auf den Wert $\frac{N}{d_1}$ ähnliche Zuſtände auf. Aber *Scheffler* hat ermittelt, daſs der mittlere Druck $\frac{N}{d_1}$ für die Flächeneinheit der Widerlagsfuge

meiſtens weit gröſser iſt als der Wert $\frac{H}{d}$, und zwar oft um das Drei- und Vierfache desſelben, d. h. daſs dieſer Druck bei kleinen Gewölben dem Gewichte eines Steinprismas von etwa 9 bis 12 m Höhe, bei den gröſsten Gewölben jedoch dem Gewichte eines ſolchen von 180 m bis ſogar 240 m Höhe entſpricht.

Der wichtige Umſtand nun, daſs auf Grund der an ausgeführten Gewölben vorgenommenen Berechnungen und Beobachtungen die Annahme eines gleichen Feſtigkeitskoeffizienten für Druck auf die Flächeneinheit nicht ſtatthaft erſcheint, ſowie der fernere Umſtand, daſs auch eine gleichförmige Verteilung des Druckes in den Fugenflächen nicht ſtattfindet, wie die klaffenden Fugen bei einem etwas mangelhaft konſtruierten und gleich nach der Ausführung ausgerüſteten Gewölbe zeigen, ohne daſs ein Einſturz dieſes Gewölbes erfolgt, verſchaffen der Annahme Raum, daſs ſelbſt bei den gröſsten Gewölben in der gedachten Scheitelfuge keine gröſsere mittlere Preſſung entſtehen ſoll, als ſolche dem Gewichte einer Steinſäule von 60 m Höhe entſpricht und daſs ferner die Widerlagsfuge bei ſolchen groſsen Gewölben bei weitem nicht durch einen Normaldruck beanſprucht werden ſoll, welchen eine Steinſäule von $3 \cdot 60 = 180$ m liefern würde, daſs vielmehr nur ein mittlerer Normaldruck zuläſſig ſein ſoll, welcher durch das Gewicht eines Steinprismas von höchſtens 86 m Höhe hervorgerufen wird.

Im weiteren Verfolge dieſer Annahmen ſind von *Scheffler* Tabellen zur Beſtimmung der Gewölbſtärken berechnet, und wenngleich dieſelben, wie ſchon oben bemerkt, vorzugsweiſe für Brückengewölbe ermittelt ſind, ſo laſſen ſich doch bei den übereinſtimmenden Eigenſchaften, welche Gewölbe, gleichgültig, welchen Zwecken ſie dienen ſollen, immer aufweiſen, die ſorgfältig erzielten Ergebniſſe auch füglich für die Gewölbe des Hochbauweſens verwerten.

Ohne hier eine Umrechnung der von *Scheffler* gegebenen Tafel zur Beſtimmung der Gewölbſtärke vorzunehmen, iſt in Rückſicht auf die Gewölbe des Hochbauweſens das folgende Verfahren eingeſchlagen.

Trägt man die abſoluten Werte von H als Abſciſſen und die jedem einzelnen H entſprechenden Gewölbſtärken d als Ordinaten auf und verbindet man die Endpunkte dieſer Ordinaten, ſo erhält man eine krumme Linie. Sucht man die Gleichung einer Kurve, welche ſich mit gröſster Wahrſcheinlichkeit jener krummen Linie nähert, ſo findet man, daſs die Gleichung der geſuchten Kurve mit der Scheitelgleichung einer Ellipſe übereinſtimmt, deren halbe groſse Achſe der Zahl 90, deren halbe kleine Achſe der Zahl 1,5, d. h. jenen oben erwähnten Grenzwerten $\frac{H}{d} = \frac{90}{1{,}5} = 60$ m entſpricht.

Da die Scheitelgleichung einer Ellipſe mit den Halbachſen a und b bekanntlich

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{(2a - x)\, x}$$

iſt, ſo wird, wenn $y = d$, $a = 90$, $b = 1{,}5$ und $x = H$ geſetzt wird,

$$d = \frac{1{,}5}{90} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 44.$$

oder

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - H)\, H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 45.$$

Nach dem vorhin bezeichneten Grenzwerte der Höhe des Steinprismas zu

60 m ist in Gleichung 45 für H höchstens 90 in Rechnung zu bringen. Für $H > 90$ müsste

$$d = \frac{H}{60} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 46.$$

werden, also im geraden Verhältnisse mit H wachsen. Für Gewölbe im Hochbauwesen ist auf diesen Fall füglich nicht zu rechnen.

Die im vorhergehenden bezeichnete Zahl 60 m gilt für sehr festes Steinmaterial. Im Hochbauwesen kommt jedoch in den meisten Fällen für den Gewölbebau Backsteinmaterial zur Verwendung, welches im allgemeinen nicht die Festigkeit gegen Druck besitzt, wie das oben angenommene Steinmaterial. Aus diesem Grunde ist es ratsam, für Backsteingewölbe den Wert

$$\frac{H}{d} = 50$$

zu setzen, d. h. die Höhe des Backsteinprismas nur zu höchstens 50 m anzunehmen.

Da H die Grösse 90 beibehält, so ergiebt sich nunmehr

$$d = \frac{90}{50} = 1{,}8 \text{ m}.$$

Beträgt das Gewicht von 1 cbm Backsteinmaterial 1600 kg, so wird die mittlere Pressung $\frac{90 \cdot 1600}{1{,}8 \cdot 1} = 80000$ kg für 1 qm oder 8 kg für 1 qcm.

Unter Anwendung der Werte für $d = 1{,}8$ und dem zugehörigen $H = 90$ erhält man entsprechend der Gleichung 44 nun für Backsteinmaterial

$$d = \frac{1{,}8}{90} \sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 47.$$

oder

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - H)\,H} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 48.$$

Würde im besonderen Falle H grösser als 90, so müsste

$$d = \frac{H}{50} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 49.$$

genommen werden.

Ein gleicher Zusammenhang, wie zwischen H und d, besteht auch zwischen dem Normaldruck N und der hierfür auftretenden Gewölbstärke d_1, wenn nur zuvor in Rücksicht gezogen wird, dass, wie vorhin erwähnt, $\frac{N}{d_1}$ höchstens gleich 3 . 60 m = 180 m werden soll.

Man erhält ähnlich wie in Gleichung 44, sobald in der Ellipsengleichung $3a$ statt a gesetzt wird,

$$d_1 = \frac{1{,}5}{3 \cdot 90} \sqrt{(2 \cdot 3 \cdot 90 - N)\,N}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 50.$$

d. h.

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - N)\,N} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 51.$$

als allgemeinen Ausdruck für die von N abhängige Gewölbstärke. Da aber bei grösseren Gewölben höchstens

$$\frac{N}{d_1} = 86 \text{ m}$$

werden foll und diefer Wert nach Ausweis derartiger ausgeführter Gewölbe für N nahezu gleich 114 eintritt, fo ergiebt fich

$$d_1 = \frac{114}{86} = 1{,}34 \text{ m}$$

und gleichzeitig für N ein Grenzwert bei der Anwendung von Gleichung 51.

Für $N \gtreqless 114$ ift $d_1 = \frac{1{,}34}{114} N$, d. h.

$$d_1 = \frac{1}{86} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 52.$$

zu nehmen, während für kleinere Werte von N die Stärke d_1 nach Gleichung 51 ermittelt werden kann.

Bei Backfteingewölben ift es aus denfelben Gründen, wie folche vorhin bei diefen Baukörpern angegeben find, zweckmäfsig, den Faktor $\frac{1}{180}$ in Gleichung 51 herabzumindern, wie folches in Gleichung 48 für d gefchehen ift, und denfelben auf $\frac{1}{3 \, . \, 50} = \frac{1}{150}$ zu bringen. Danach wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - N)\, N}\,, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 53.$$

worin N höchftens bis 114 eintreten foll.

Für $N \gtreqless 114$ wird fachgemäfs $\frac{N}{d_1}$ nicht mehr gleich 86, fondern geringer genommen, fo dafs $\frac{N}{d_1} = 72 \text{ m}$ gefetzt wird.

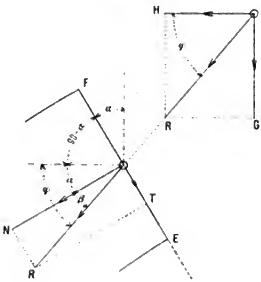
Hiernach wird bei dem Grenzwerte $N = 114$

$$d_1 = \frac{114}{72} = 1{,}58 \text{ m}$$

und nunmehr für $N \gtreqless 114$ die Stärke $d_1 = \frac{1{,}58}{114} N$, d. h. genau genug

$$d_1 = \frac{1}{72} N \quad \ldots \ldots \ldots \quad 54.$$

Fig. 52.



Wenn im Hochbauwefen bei Tonnengewölben die Gleichung 54 wohl nicht in Anwendung kommt, fo ift doch bei gröfseren Kuppelgewölben ihre Benutzung nach Ermittelung des Normaldruckes, welchen die Kuppel auf ihrer Bafis hervorruft, unter Umftänden für die Beftimmung der Gewölbftärke der Kuppel an ihrem Fufse erforderlich.

Für die Anwendung der für d, bezw. d_1 gegebenen Gleichungen ift noch das Folgende zu beachten.

Liefert der Normaldruck N kleinere oder gleiche Werte als der Gewölbfchub H, fo ift der für H gefundene Wert d durchweg für das ganze Gewölbe beizubehalten. Entfteht

dagegen für N bei irgend einer Wölbfuge eine gröfsere Stärke d_1 als die für H gefundene Dicke d, fo ift d_1 zu nehmen. Hierdurch wird oft eine vom Gewölbfcheitel bis zur Widerlagsfuge ftetig von d bis d_1 wachfende Verftärkung des Gewölbes bedingt.

Die Gröfse des Normaldruckes N ergibt fich nach Fig. 52 als

$$N = R \cdot \cos \beta = R \cdot \cos (\varphi - \alpha),$$

d. h.

$$N = R (\cos \varphi \cdot \cos \alpha + \sin \varphi \cdot \sin \alpha).$$

Da $\cos \varphi = \frac{H}{R}$ und $\sin \varphi = \frac{G}{R}$, fo wird

$$N = H \cos \alpha + G \sin \alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 55.$$

Für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad ift

$$N = 0{,}5\, H + 0{,}866\, G \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 56.$$

Beifpiele: 1) Ein unbelaftetes, aus Backfteinen auszuführendes Halbkreisgewölbe von 2^m Halbmeffer fei bis zur Bruchfuge (Bruchwinkel α gleich 60 Grad angenommen) in wagrechten Schichten aufgeführt. Für das verbleibende Gewölbftück ift die Stärke zu berechnen.

Die unbekannte Gewölbdicke im Scheitel möge zunächft gleich $\frac{1}{2}$ Backfteinlänge, alfo gleich $0{,}12^m$ gefetzt werden. Da $r = 2^m$ und $d = 0{,}12^m$ ift, fo ift $R = 2{,}12^m$, und nach Gleichung 43 wird

$$H = \frac{0{,}4534\,(2{,}12^2 - 2^2)\,2 - 0{,}166\,(2{,}12^3 - 2^3)}{2{,}12 - 0{,}5 \cdot 2} = 0{,}172.$$

Hiernach erhält man unter Benutzung von Gleichung 48

$$d = \frac{1}{50} \sqrt{(180 - 0{,}172)\, 0{,}172} = 0{,}1113^m.$$

Die urfprünglich für d gewählte Abmeffung $0{,}12^m$ weicht von der berechneten Gröfse nur ganz wenig ab. Da aufserdem aus praktifchen Gründen die Stärke unter einer halben Backfteinlänge nicht ohne Verhauen der Steine herzuftellen ift, fo kann die geführte Rechnung für d abgefchloffen und danach die Gewölbftärke zu $0{,}12^m$ beibehalten werden.

Die Gröfse des Normaldruckes N wird nach Gleichung 56

$$N = 0{,}5 \cdot 0{,}172 + 0{,}866\, G$$

oder, da fich nach Gleichung 39, worin für $\sphericalangle \alpha = 60$ Grad nun $\alpha = 1{,}0472$ zu fetzen ift,

$$G = \frac{2{,}12^2 - 2^2}{2}\, 1{,}0472 = 0{,}259$$

ergiebt,

$$N = 0{,}31.$$

Unter Einführung diefes Wertes in Gleichung 53 wird

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}31)\, 0{,}31} = 0{,}086^m.$$

Da d_1 kleiner ift als d, fo ift die Stärke $d = 0{,}12^m$ für das Gewölbe durchweg in Anwendung zu bringen.

Nach einer empirifchen Regel, welche *Rondelet* für kleinere Halbkreisgewölbe aus Backfteinen aufgeftellt hat, foll, wenn die Gewölbe bis zur halben Höhe hintermauert find und die Rückenlinie der Wölblinie konzentrifch ift, die Gewölbftärke gleich $\frac{1}{36}$ der Spannweite fein. Im vorliegenden Falle würde hiernach

$$d = \frac{2\,r}{36} = \frac{2 \cdot 2}{36} = \frac{1}{9} = 0{,}111^m$$

werden, mithin fich in recht guter Uebereinftimmung mit der oben gefundenen Gewölbftärke befinden.

2) Das in gleicher Weife auszuführende Halbkreisgewölbe befitze einen Halbmeffer r von 4^m; die Gewölbftärke foll ermittelt werden.

Die noch unbekannte Gewölbftärke fei vorläufig und willkürlich zu $0{,}12^m$ gewählt. Alsdann ift $R = r + 0{,}12 = 4{,}12$ und ferner nach Gleichung 43

$$H = \frac{0{,}4534\,(4{,}12^2 - 4^2)\,4 - 0{,}166\,(4{,}12^3 - 4^3)}{4{,}12 - 0{,}5 \cdot 4} = 0{,}37.$$

Bringt man diefen Wert in Gleichung 48, fo ift

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 0{,}37)\,0{,}37} = 0{,}16\,^{\mathrm{m}},$$

womit ein erfter Näherungswert für d berechnet ift. Unter Benutzung desfelben wird weiter nach Gleichung 43

$$H = \frac{0{,}4534\,(4{,}16^2 - 4^2)\,4 - 0{,}166\,(4{,}16^3 - 4^3)}{4{,}16 - 0{,}5\,.\,4} = 0{,}48\,.$$

Für diefen Gewölbfchub liefert Gleichung 48 die Gewölbftärke $d = 0{,}19\,^{\mathrm{m}}$.

Da die Unterfuchung zeigt, dafs die Gewölbftärke d einen gröfseren Wert als $d = 0{,}16\,^{\mathrm{m}}$ beanfprucht, fo möge jetzt $d = 0{,}20\,^{\mathrm{m}}$ genommen werden. Hierdurch erhält man nach Gleichung 43 den Gewölbfchub $H = 0{,}59$ und dann nach Gleichung 48 die Gewölbftärke $d = 0{,}206\,^{\mathrm{m}}$, welche nur noch wenig von $d = 0{,}20\,^{\mathrm{m}}$ abweicht, fo dafs hiermit die Rechnung ihren Abfchlufs findet.

Hätte man d ftatt $0{,}20\,^{\mathrm{m}}$ zu $0{,}25\,^{\mathrm{m}}$ eingeführt, fo hätte man durch das Ausrechnen für d nur nahezu $0{,}23\,^{\mathrm{m}}$ und damit die Anzeige erhalten, dafs die Gewölbftärke kleiner als $0{,}25\,^{\mathrm{m}}$ zu nehmen wäre.

Für den Normaldruck N ergiebt fich nach Gleichung 56, da $H = 0{,}59$ ift,

$$N = 0{,}5\,.\,0{,}59 + 0{,}866\,G,$$

worin nunmehr

$$G = \frac{4{,}2^2 - 4^2}{2}\,1{,}0472 = 0{,}859$$

wird, fo dafs man

$$N = 1{,}04$$

erhält. Mit Benutzung von Gleichung 53 ergiebt fich weiter

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}04)\,1{,}04} = 0{,}15\,^{\mathrm{m}}.$$

Da nun auch in diefem Beifpiele d_1 kleiner als d wird, fo ift wiederum das Gewölbe in gleicher Stärke auszuführen. Da man aber ftatt $d = 0{,}20\,^{\mathrm{m}}$ in der Praxis d entfprechend der Backfteinlänge zu 0,25 nimmt, fo ergiebt fich hierdurch von felbft noch eine etwas erhöhte Gewölbftärke.

Nach der von *Rondelet* herrührenden empirifchen Regel würde fich $d = \frac{2\,.\,4}{36} = 0{,}22\,^{\mathrm{m}}$ ergeben haben.

18. Gewölbeanfänger.

Ein ohne Hintermauerung und nicht mit wagrecht vorgemauerten Anfängern verfehenes, frei im Widerlager aufftehendes, unbelaftetes Halbkreisgewölbe mit einem Halbmeffer $r = 4\,^{\mathrm{m}}$ müfste, fo lange noch nicht auf eine kräftige Verkittung der Wölbfteine durch den Fugenmörtel gerechnet werden darf, nach den früher gemachten Angaben mindeftens $\frac{2r}{17{,}544} = \frac{2\,.\,4}{17{,}544} = 0{,}456\,^{\mathrm{m}}$ ftark werden, um bei diefer Stärke fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehung und Gleiten zu befinden. Statt der Dicke d von $0{,}456\,^{\mathrm{m}}$ würde man felbftverftändlich die Stärke von zwei Backfteinlängen, d. h. einfchliefslich der Fuge $0{,}51\,^{\mathrm{m}}$ zur Ausführung bringen.

Fig. 53.



Aus dem Vergleiche diefer Gewölbftärke mit der im zweiten Beifpiele geführten Rechnung ift wiederum deutlich der Vorteil zu erkennen, welcher fich für den Gewölbkörper mit den bis zur Bruchfuge in wagrechten Schichten ausgeführten Gewölbanfängern herausftellt.

Eine folche in wagrechten Schichten aufgemauerte Konftruktion des Gewölbanfängers ift auch bei Tonnengewölben aus Quadern nach Fig. 53 in jeder Beziehung anzuraten. Hierbei treten zur Vermeidung von fpitzen Winkeln kurze, fenkrecht zur Wölblinie ftehende Fugen a auf, welche an ihren vorderen Kanten eine geringe Abfchrägung, den fog. Druckfchlag, erhalten. Diefer Druckfchlag verhindert in vielen Fällen das Abfprengen der Steinkanten

durch diejenigen Preſſungen, welche unter Umſtänden beſtrebt ſind, ſich im Gewölbkörper der Wölblinie zu nähern.

Fig. 54.

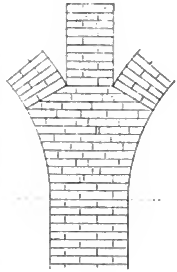
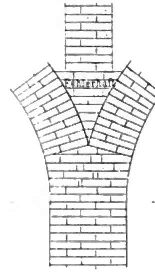


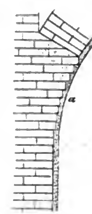
Fig. 55.



Treten zwei Tonnengewölbe gegen eine gemeinſchaftliche Widerlagsmauer, ſo iſt der Gewölbanfänger, gleichgültig, welches Material zum Gewölbe benutzt wird, nach Fig. 54 für beide Baukörper gemeinſam in wagrechten Schichten bis zu den Bruchfugen auszuführen. Eine Anordnung nach Fig. 55 iſt in hohem Grade zu tadeln, da der im Gewölbzwickel auftretende Mauerkörper als ein durch die obere Belaſtung ſtark eingefügter Keil auftritt, welcher nachteilig auf das Bauſyſtem einzuwirken vermag.

Bei Backſteinmaterial iſt das Verhauen der Steine im Anfänger an der Laibungsfläche (Fig. 56) unnötig, da, falls ein Verputzen des Gewölbes im Inneren vorgenommen werden ſoll, der Putz ſich, wie bei *a*, in die ſog. Ueberkragungen der Steine legt. Für derartige Gewölbe, deren Laibungsflächen keinen Putz erhalten ſollen, iſt die Anwendung von Formſteinen nach Fig. 57 empfehlenswert.

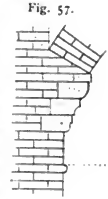
Fig. 56.



19. Stärke belaſteter halbkreisförmiger Tonnengewölbe.

Tonnengewölbe, wie Gewölbe überhaupt, welche nur als ſog. unbelaſtete Gewölbe ihr Eigengewicht zu tragen haben, kommen allerdings bei Deckenbildungen im Hochbauweſen vor. Recht oft jedoch erfahren derartige Gewölbe noch weitere Belaſtungen durch Hintermauerung, d. i. Ausfullung der Gewölbzwickel, durch vollſtändige Uebermauerung, durch darüber liegende Fuſsbodenkonſtruktionen, durch Auffchüttungen und durch ab und zu auftretende veränderliche Belaſtungen, welche häufig ein bedeutendes Gewicht ergeben.

Fig. 57.

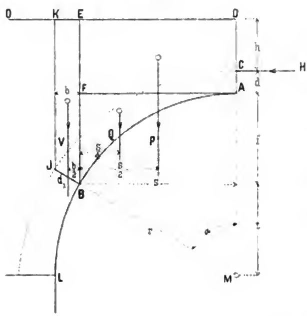


Denkt man ſich die geſamte in Frage kommende fernere Belaſtung des Gewölbes erſetzt durch einen Steinkörper von gleichem Material, woraus das Gewölbe beſteht, ſo erſcheint der Querſchnitt des Gewölbes mit ſeiner Belaſtung unten und oben begrenzt durch die innere Wölblinie und die obere Belaſtungslinie, welche zwiſchen ſich die Belaſtungsfläche enthalten. Da nach dieſer Zurückführung der auf das Gewölbe kommenden Belaſtung auf eine Maſſe, welche dieſelbe Dichtigkeit beſitzt wie das Gewölbmaterial, Gleichartigkeit vorhanden iſt, ſo kann man nach Feſtlegen der Belaſtungsfläche, bei der Annahme der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit, ohne fernere Umrechnungen des Gewichtes der Belaſtung ſofort der Stabilitätsunterſuchung des Gewölbes näher treten und ſich hierbei der Rechnung oder vielfach kürzer der einſchlägigen Verfahren der graphiſchen Statik bedienen.

Für den hier vorliegenden Zweck, Anhaltspunkte für die Ermittelung der Gewölbſtärke zu gewinnen, ſoll zunächſt der Weg der Rechnung betreten werden.

Nach Fig. 58 ſei AL die innere halbkreisförmige Wölblinie eines Tonnengewölbes mit dem Halbmeſſer r. DO die vorhin gekennzeichnete, hier wagrecht gelegte Belaſtungslinie und BJ eine beliebige, unter einem Winkel α von der Scheitellotrechten MA abweichende Gewölbfuge; alsdann kann man bei der Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit die Gröſse der Belaſtungsfläche $ADKJB$, welche bis zur Fuge BJ in Betracht kommt, ſofort auch an die Stelle des Gewichtes ſetzen, welches vom Gewölbe ſamt ſeiner Belaſtung herrührt und auf der Fugenfläche von BJ ruht. Die Länge dieſer Fuge möge gleich d_1 ſein.

Fig. 58.



Zerlegt man die ganze Belaſtungsfläche in die Einzelflächen $ADEF$, AFB und $BEKJ$, betrachtet man ferner, was für die weitere Unterſuchung mit hinreichender Genauigkeit zuläſſig erſcheint, den Kreisbogen AB als einen Parabelbogen, deſſen Scheitel A iſt, ſo erhält man nach den Bezeichnungen in Fig. 58

$$P = (d + h)\, s, \qquad 57.$$

$$Q = \frac{1}{3} f s \qquad 58.$$

und genau genug

$$V = (d + h + f)\, b,$$

oder, da $b = \frac{d_1 s}{r}$ iſt,

$$V = (d + h + f)\, d_1 \frac{s}{r}; \qquad 59.$$

mithin, wenn G das Geſamtgewicht der in Rechnung gezogenen Belaſtungsfläche ausdrückt,

$$G = s\left[d + h + \frac{f}{3} + (d + h + f)\frac{d_1}{r}\right]. \qquad 60.$$

In Bezug auf den Fugenpunkt B erhält man unter Berückſichtigung der Schwerpunktsabſtände der betrachteten Einzelflächen das ſtatiſche Moment

$$\mathfrak{M} = P\frac{s}{2} + Q\frac{s}{4} - V\frac{d_1 s}{2r},$$

oder, unter Benutzung der Gleichungen 57 bis 59, auch

$$\mathfrak{M} = \frac{s^2}{12 r^2}\left\{r^2\left[6(d + h) + f\right] - 6(d + h + f)\, d_1^{\,2}\right\} \qquad 61.$$

Nimmt man vorläufig wiederum an, der Angriffspunkt des Gewölbſchubes H befinde ſich im höchſten Punkte C der gedachten Scheitelfuge AC, ſieht man alſo dabei vorderhand davon ab, daſs, wie ſpäter noch beſprochen werden wird, dieſer

Angriffspunkt von H fowohl, als auch der Punkt B von der Gewölbkante aus mehr in das Innere der Gewölbfläche rücken mufs, fo hat man das ftatifche Moment des Gewölbfchubes H als $H(d+f)$ für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung dem Werte $\mathfrak{M}$ in Gleichung 61 gleich zu fetzen und erhält danach

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)\,r^2}\left\{ r^2\,[6\,(d+h)+f] - 6\,(d+h+f)\,d_1^{\,2} \right\}. \quad . \quad . \quad 62.$$

Nun ift $s = r \cdot \sin\alpha$ und $f = r - t = r\,(1 - \cos\alpha) = 2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2$. Fuhrt man diefe Werte in Gleichung 62 ein, fo ergiebt fich

$$H = \frac{\sin\alpha^2}{6\left[d+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]}\left\{ r^2\left[3\,(d+h)+r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right] - 3\left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 d_1^{\,2}\right]\right\}, \quad . \quad 63.$$

und aufserdem erhält man unter Benutzung der für s und f gegebenen Ausdrücke nach Gleichung 60

$$G = r\sin\alpha\left\{ d+h+\frac{2}{3}\,r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \left[d+h+2r\left(\sin\frac{\alpha}{2}\right)^2\right]\frac{d_1}{r}\right\}. \quad . \quad 64$$

Mit Hilfe der Gleichung 63 kann für ein belaftetes Halbkreisgewölbe mit wagrechter Belaftungslinie, welche im Scheitel für eine Belaftungshöhe h ermittelt und feftgelegt ift, der Gewölbfchub H beftimmt werden, indem man zunächft d willkürlich oder fchätzungsweife annimmt, ferner d_1 vorläufig gleich d fetzt, endlich den Winkel α entfprechend den früheren Erörterungen gleich einem Bruchwinkel von 60 Grad einführt und dann mittels der Gleichung 45, bezw. 48 die Gewölbftärke berechnet. Den Normaldruck N findet man, fobald G und H beftimmt find, nach Gleichung 55, bezw. 56 und hiernach die Stärke d_1 unter Benutzung der Gleichung 51, bezw. 53.

Beifpiel. Für ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe aus Backftein fei $r = 3^m$ und $h = 0{,}3^m$; diefe Höhe entfpricht, wenn diefelbe über der vollen Ausmauerung der Zwickel des Gewölbes beftändig bleibt, einer gleichförmig verteilten Ueberlaft von 480 kg für 1 qm Grundrifsfläche. Der Bruchwinkel $\alpha = 60$ Grad; die Gewölbftärke ift zu berechnen.

Setzt man vorweg und ganz willkürlich $d = 0{,}12^m$ und ebenfalls $d_1 = 0{,}12^m$, fo erhält man nach Gleichung 63, da $\sin\alpha = \sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866$ und $\sin\frac{\alpha}{2} = \sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ ift,

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}12+6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{ 9\left[3\,(0{,}12+0{,}3)+3\,\frac{1}{4}\right] - 3\left[0{,}12+0{,}3+6\,\frac{1}{4}\,0{,}12^2\right]\right\} = \sim 1{,}29;$$

mithin nach Gleichung 48

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180-1{,}29)\,1{,}29} = 0{,}303^m;$$

fonach war die Gewölbftärke d urfprünglich viel zu gering genommen.

Setzt man jetzt, da das Gewölbe ftärker als eine Backfteinlänge werden mufs, aus praktifchen Gründen fofort die Dicke des Gewölbes zu $1\frac{1}{2}$ Backfteinlängen, d. i. zu $0{,}38^m$, und behält man $d = d_1$ bei, fo wird nun

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0{,}38+6\,\frac{1}{4}\right)}\left\{ 9\left[3\,(0{,}38+0{,}3)+3\,\frac{1}{4}\right] - 3\left[0{,}38+0{,}3+6\,\frac{1}{4}\,0{,}38^2\right]\right\} = 1{,}49,$$

wofür fich nach Gleichung 48

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180-1{,}49)\,1{,}49} = 0{,}326^m$$

ergiebt.

Diefes Ergebnis zeigt, dafs die zu $0{,}38$ m angenommene Scheitelftärke des Gewölbes etwas zu grofs fein würde. Da jedoch ohne unnützes Verhauen der Backfteine die Herabminderung der Stärke nicht fachgemäfs eintreten kann, fo wird die Dicke von $0{,}38$ m für die Ausführung des Gewölbes genommen.

Nachdem H genau genug zu $1{,}49$ beftimmt und d zu $0{,}38$ m bekannt geworden ift, läfst fich der Normaldruck N für die Bruchfuge mit dem Winkel $\alpha = 60$ Grad nach Gleichung 56 als

$$N = 0{,}5 \cdot 1{,}49 + 0{,}866\, G$$

finden.

Nach Gleichung 64 wird unter Einführung der bekannten Gröfsen und bei der Annahme $d = d_1$ nunmehr

$$G = 3 \cdot 0{,}866 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{4}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = 3{,}788$$

und fomit

$$N = 0{,}745 + 3{,}272 = \sim 4\,;$$

folglich wird nach Gleichung 53

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 4)\, 4} = 0{,}326 \text{ m}.$$

Da diefe Gröfse den Wert von $0{,}38$ m für d nicht erreicht, fo ift eine Vermehrung der Gewölbftärke nach der Bruchfuge zu nicht erforderlich.

Wird das in Frage ftehende Tonnengewölbe in feinen Anfängern bis zur Bruchfuge nicht in wagrechten Schichten aufgemauert, fo ift noch zu prüfen, ob der Normaldruck, welcher die wagrechte Widerlagsfuge trifft, nicht eine gröfsere Gewölbftärke verlangt, als die bis jetzt feftgefetzte ift. Da für diefe Fuge Winkel $\alpha = 90$ Grad wird, fo erhält man nach Gleichung 55 fofort $N = G$ und weiter nach Gleichung 64, da $\sin \alpha = \sin 90 = 1$ und $\sin \frac{\alpha}{2} = \sin 45 \text{ Grad} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, alfo $(\sin 45)^2 = \left(\sin \frac{\alpha}{2}\right)^2 = \frac{1}{2}$ ift,

$$G = 3 \left[0{,}38 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0{,}38 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{2}\right) \frac{0{,}38}{3}\right] = \sim 6{,}44\,.$$

Bringt man $G = N = 6{,}44$ in Gleichung 53, fo folgt

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 6{,}44)\, 6{,}44} = 0{,}39 \text{ m}.$$

Diefe Stärke weicht nur um 1 cm von der früher erhaltenen Stärke ab, fo dafs d füglich durchweg beibehalten werden könnte. Die Unterfuchung lehrt aber, dafs für Halbkreisgewölbe bei der Beftimmung der Gewölbftärke mit Vorficht verfahren werden mufs, dafs wiederum wagrecht aufgemauerte Anfänger ratfam erfcheinen oder dafs bei gröfseren Tonnengewölben das Verlaffen der als Halbkreis auftretenden Erzeugenden und Erfetzen derfelben durch einen Parabelbogen, deffen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ift, fich als erwünfcht und als rätlich zeigt.

Ift bei halbkreisförmigen Tonnengewölben in der angegebenen Weife die Gewölbftärke zu berechnen, fo kann dasfelbe Verfahren der Unterfuchung auch bei Tonnengewölben, deren Erzeugende elliptifche Bogen, Korbbogen, Parabelbogen oder Spitzbogen find, und ferner auch bei flachbogigen, fowie bei einhüftigen Gewölben zur Anwendung kommen. Da hierbei die Beftimmung des Gewölbfchubes H Hand in Hand geht mit dem Feftlegen der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke und gleichzeitig beeinflufst wird durch die in der Belaftungsfläche ausgedrückte Ueberlaft des Gewölbes, fo wird zur Vermeidung vielfacher oder umftändlicher Rechnungen die erfte Ermittelung von H am einfachften auf graphifchem Wege vorgenommen[6]). 20. Stärke anders geformter Gewölbe.

Allerdings ift auch hierbei vorweg eine Gewölbftärke fchätzungsweife anzunehmen. Um diefe Schätzung zu erleichtern, bedient man fich wohl der empirifchen Formeln, welche aber, wie ausdrücklich hier betont werden mag, ein weiteres genaueres Feftlegen der Gewölbftärke in jedem einzelnen Falle durchaus nicht ausfchliefsen dürfen. Von derartigen empirifchen Regeln fpielen in der Litteratur des Bauwefens immer noch die von *Rondelet* aufgeftellten Formeln eine Rolle, wovon die folgenden hier angeführt werden mögen. 21. *Rondelet*'s Formeln für die Gewölbeftärke.

[6]) Siehe Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 483, S. 453 (2. Aufl.: Art. 274, S. 260). — 3. Aufl.: Art. 280, S. 293.)

Für Gewölbe mit halbkreisförmiger und auch mit elliptiſcher Wölblinie und Quadern als Wölbmaterial, ſowie unter der Vorausſetzung, daſs dieſe Gewölbe im Widerlager doppelt ſo ſtark ſind wie im Scheitel, ſoll, wenn d die Schluſsſteinſtärke und s die Spannweite (in Met.) bezeichnen, ſein:

1) für unbelaſtete Gewölbe: $d = 0{,}01\, s + 0{,}08$ Met.,
2) für mittelſtark belaſtete Gewölbe: $d = 0{,}02\, s + 0{,}16$ Met. und
3) für ſtark belaſtete Gewölbe: $d = 0{,}04\, s + 0{,}32$ Met.

So würde z. B. das zuletzt unterſuchte, mittelſtark belaſtete Tonnengewölbe mit dem Halbmeſſer von 3^m, alſo der Spannweite von 6^m, wenn dasſelbe ſtatt aus Backſteinmaterial aus Quadern ausgeführt werden ſollte, nach der Regel 2 eine Scheitelſtärke $d = 0{,}02 \cdot 6 + 0{,}16 = 0{,}28^m$ erhalten.

Nach Gleichung 45, welche für Quadergewölbe zu benutzen iſt, würde, da H in dem erwähnten Beiſpiele zu $1{,}49$ gefunden worden iſt, welcher Wert auch hier beibehalten werden kann,

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 1{,}49)\, 1{,}49} = 0{,}272^m$$

ſich ergeben haben, mithin nur eine äuſserſt geringe Abweichung aufweiſen.

Für die Stärke am Widerlager würde nach der *Rondelet*'ſchen Regel die Abmeſſung d_1 ſich zu $2\,d = 0{,}56^m$ feſtſtellen, welche als reichlich groſs anzuſehen iſt. Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge würde nach Gleichung 55 ſich $N = G$ ergeben. Bei einer gleichmäſsigen Stärke $d = 0{,}28^m$ wird nach Gleichung 64, worin $\sphericalangle\, \alpha = 90$ Grad zu ſetzen iſt,

$$G = 3\left[0{,}28 + 0{,}3 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{2} + \left(0{,}28 + 0{,}3 + 6 \cdot \frac{1}{2}\right) \frac{0{,}28}{3}\right] = \infty\, 5{,}75 = N.$$

Unter Benutzung von Gleichung 51 erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 5{,}75)\, 5{,}75} = 0{,}308^m$$

als Näherungswert, alſo weit kleiner als die nach der Regel von *Rondelet* gefundene Stärke am Widerlager. Aber ſelbſt, wenn G auf 7 anwachſen würde, ſo würde d_1 erſt gleich $0{,}34^m$ werden.

22. Mittellinie des Druckes.

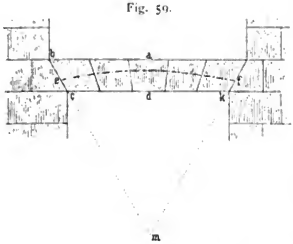
Wie nun aber auch die Gewölbſtärke für ein auszuführendes Gewölbe beſtimmt ſein mag, immer iſt es zur Gewinnung der Ueberzeugung von der Sicherheit und Haltbarkeit desſelben anzuraten, durch Konſtruktion der Mittellinie des Druckes das Gewölbe auf ſeine Standfähigkeit einer Prüfung zu unterziehen, um danach, wenn die Belaſtung des Gewölbes, was meiſtens der Fall iſt, nicht geändert werden darf, entweder die Gewölbſtärke oder die Form der Wölblinie je für ſich allein oder auch unter beſonderen Umſtänden beide gleichzeitig zu ändern, damit man für die Standfähigkeit des Gewölbes günſtige Ergebniſſe erziele. Die dazu nötigen Verfahren ſollen noch weiter behandelt werden.

Bei den oben angeſtellten Unterſuchungen iſt zur Berechnung des möglich kleinſten Gewölbſchubes H der Angriffspunkt desſelben im höchſten Punkt der gedachten Scheitelfuge angenommen, und ebenſo iſt auch der in der Wölblinie gelegene vordere Punkt der Bruchfuge, bezw. der Widerlagsfuge als ein Angriffspunkt der Mittelkraft, welche aus dem Gewölbſchube und aus dem von der gedachten Scheitelfuge bis zur Bruchfuge entſtehenden Geſamtgewicht des Gewölbkörpers entſpringt, angeſehen, ſo daſs dieſe beiden Punkte als Punkte auftreten würden, welche einer mit dem Gewölbſchube H gezeichneten Mittellinie des Druckes angehören. Bei dieſer Annahme würde ein Druck von endlicher Gröſse auf eine Linie, alſo auf eine Fläche von unendlich kleiner Gröſse kommen, d. h. der Druck für eine Flächeneinheit würde an den angenommenen Angriffsſtellen einen unendlich groſsen Wert annehmen, welchem kein Material Widerſtand leiſten kann, da dasſelbe nicht abſolut ſtarr, ſondern in gewiſſem Grade preſsbar iſt. Die Folge von der Preſsbarkeit oder der Elaſtizität des Wölbmaterials iſt, daſs die Angriffspunkte der

bezeichneten Kräfte fich von den äufserften Kantenpunkten zurückziehen und mehr nach dem Inneren der Gewölbfläche verlegen. Wie weit diefes Zurückziehen eintritt, ift mit Beftimmtheit nicht zu fagen; dafs dasfelbe aber in mehr oder weniger hohem Grade der Fall ift, zeigen viele ausgeführte, als vollftändig ftabil geltende Gewölbe, namentlich Halbkreisgewölbe und gedrückte Tonnengewölbe nach der Ausrüftung an den fog. gefährlichen Stellen in der Nähe des Scheitels, der Bruchfuge und der Widerlagsfuge, indem in der Nähe des Scheitels in den Fugen an der Stirn nach unten zu leichte Haarriffe wahrzunehmen find, während in der Nähe der Kanten oben am Rücken des Gewölbes die Steine fich fcharf aneinander preffen. Ebenfolche Erfcheinungen treten an den Bruchfugen ein, wobei die Steine vorn an der Fugenkante in der inneren Wölblinie fich fcharf preffen und in den Fugen jene Haarriffe in der Nähe der Rückenlinie fich bilden, während an den Widerlagsfugen, je nachdem der durch die Mittellinie des Druckes, welche für den möglich kleinften Gewölbfchub ermittelt ift, gefundene Preffungspunkt der inneren oder der äufseren Wölblinie am nächften liegt, die Preffungen zwifchen den Steinen in der nächft gelegenen Wölblinie, die Haarriffe in den Fugen nach der entgegengefetzten Richtung fich kundgeben. Hiernach lehrt diefe Erfahrung, dafs bei den meiften als Wölbmaterial benutzten Steinen im ganzen die Mittellinie des Druckes an jenen bezeichneten Stellen fich doch nur in mäfsiger Gröfse von den Kanten der Wölbfteine zurückzieht.

Scheffler fagt [7]), dafs es für die Ausführung der Gewölbe hinreichende Sicherheit gewähren möchte, wenn von der Vorausfetzung ausgegangen wird, dafs die Mittellinie des Druckes bis auf den vierten Teil der Gewölbftärke in den vorhin gekennzeichneten Fugen zurückgedrängt werden könne und wenn ferner die Gewölblinie, fowie die Stärke des Gewölbes fo genommen werden, dafs nach Abzug eines inneren und eines äufseren Streifens, von denen jeder den vierten Teil der Gewölbftärke zur Breite hat, der verbleibende innere Gewölbftreifen, welcher noch eine Breite gleich der halben Gewölbftärke behält, nach den Gefetzen für die Mittellinie des Druckes mit dem möglich kleinften Gewölbfchube, welcher für diefen inneren Streifen nebft der auf denfelben kommenden Gefamtbelaftung eintritt, auf feine Stabilität unterfucht wird, wobei je nach den bei diefer Unterfuchung fich ergebenden Refultaten noch durch etwaige Aenderung der Form der Wölblinie, der Gewölbftärke oder gleichzeitige Aenderung beider Stücke zweckmäfsige Vorkehrungen für die Stabilität des Gewölbes getroffen werden können.

Fig. 59.



Von vielen wird verlangt, dafs ein Gewölbe eine folche Form der Wölblinie und eine folche Stärke erhalten foll, dafs eine Mittellinie des Druckes in die Gewölbfläche eingezeichnet werden kann, welche an jeder Stelle mindeftens um ein Drittel der Gewölbftärke von den betreffenden Kanten der Steine zurückbleibt [8]). Ob aber in Wirklichkeit die nach diefen Annahmen gezeichnete Mittellinie des Druckes auch nach der Ausführung und Ausrüftung fonft ftabiler und nicht mit unnötiger Stärke verfehener Gewölbe eine folche Lage beibehält, ift in hohem Grade ungewifs und unter Umftänden unmöglich.

Betrachtet man z. B. ein fcheitrechtes Gewölbe (Fig. 59), welches als unbelafteter Sturz für eine Oeffnung von nur $1{,}50$ m Weite aus Quadermaterial in einer Scheitelftärke von $0{,}30$ m ausgeführt und wobei

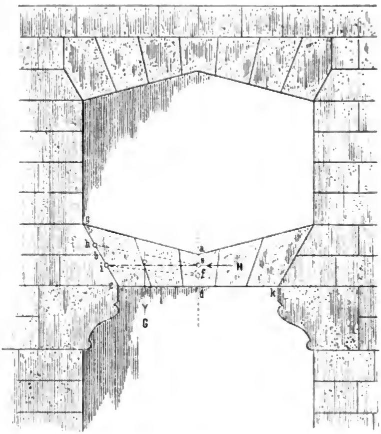
[7]) In feiner »Theorie der Gewölbe« etc. Braunfchweig 1857. S. 69.

[8]) Siehe Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte diefes »Handbuches«, Art. 479, S. 448 (2. Aufl., Art. 272, S. 257. — 3. Aufl.: Art. 278, S. 291.)

$cm = ck$ genommen ist, so bekundet die Untersuchung dieses Sturzes seine Stabilität. Für denselben ist auch eine Mittellinie des Druckes ef im inneren Drittel möglich.

Benutzte man einen solchen Sturz nach Fig. 60 als unteren Abschluss einer Lichtöffnung in der Weise, dass jetzt, unter Beibehaltung der Scheitelstärke $ad = 0{,}20$ m, die Stärke ceg am Widerlager gleich dem Doppelten von der früheren Stärke cb würde, und wären in der gedachten Scheitelfuge ad die Strecken $ae = ef = fd = \frac{ad}{3}$ und ebenso die Strecken $gh = hi = ic = \frac{gc}{3}$, wobei hier absichtlich bei g die sonst nicht günstige Schneide am Kämpfersteine gelassen ist, so würde, wenn die Mittellinie des Druckes im inneren Drittel $efih$ bleiben sollte, diese Linie eine wagrechte gerade Linie ei sein, welcher ein unendlich grosser Gewölbschub und demnach eine unendlich grosse Scheitelstärke zukommen würde, was vollständig ungereimt ist. Die in Wirklichkeit auftretende Mittellinie des Druckes wird sich den Kanten in a und c nähern und das innere Drittel verlassen müssen, da H einen endlichen Wert und im vorliegenden Falle sogar einen solchen von ziemlich geringer Grösse annehmen muss.

Fig. 60.



Versuche mit Modellen von unbelasteten Halbkreisgewölben bekunden gleichfalls eine nahezu an den Kanten der sog. gefährlichen Stellen des Gewölbes eintretende Lage der Mittellinie des Druckes. Bei der mittels des möglich kleinsten Gewölbschubes gezeichneten derartigen Lage ergiebt sich, wie schon in Art. 17 (S. 42) angeführt, dass bei einem solchen Gewölbe mit gleicher Dicke die Stärke eine Abmessung von $\frac{1}{17{,}544}$ der Spannweite haben muss, wenn das Gewölbe eben noch im Gleichgewichtszustande sein soll. Hiernach angestellte Versuche zeigen dasselbe Ergebnis. Sollte nun eine Mittellinie des Druckes bei einem unbelasteten Halbkreisgewölbe im inneren Drittel liegen, so müsste das Gewölbe eine Dicke von etwa $\frac{1}{5{,}85}$ der Spannweite desselben besitzen, also bei 5,85 m Spannweite 1 m stark werden, ein Ergebnis, welches den bei stabilen Halbkreisgewölben in der Praxis gewonnenen Erfahrungen vollständig widerspricht und demnach als gänzlich unzulässig gelten muss.

Wie in gegebenen Fällen und unter besonderen Umständen die Annahme für die Lage einer möglichen Mittellinie gemacht werden kann, welche gewissen Bedingungen entspricht, ist in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 444[9]) dieses »Handbuches« näher erörtert, und es wird hierauf verwiesen; die Bemerkung möge jedoch noch gemacht werden, dass, wenn für Gewölbebauten im Hochbau-

[9]) 2. Aufl.: Art. 265, S. 250.

wefen nur fehr prefsbares Material, welches allerdings bei der Ausführung von einigermafsen gröfseren und belafteten Deckengewölben, wenn irgend thunlich, nicht benutzt werden follte, zur Anwendung gelangt, die Gewölblinie und die Gewölbftärke zweckmäfsig fo beftimmt werden, dafs eine Mittellinie des Druckes möglich wird, welche mit der Mittellinie der Stirnfläche des Gewölbes, alfo mit der Achfe diefer Fläche fich ganz oder nahezu deckt. Eine folche Mittellinie des Druckes befitzt jedoch fehr grofse Aehnlichkeit mit einer Parabel, deren Achfe mit der Scheitellotrechten des Gewölbes zufammenfällt, fo dafs auch in einem folchen Falle die Parabel als Bogenlinie vorteilhaft auftritt.

Verhältnismäfsig einfach ift die Beftimmung der Stärke der Widerlager der Gewölbe. Sobald der auf die Widerlagsfuge (Kämpferfuge) kommende Kämpferdruck auf Grund der für die Gewölbftärke gegebenen Erörterungen und durch die ftatifchen Unterfuchungen des eigentlichen Gewölbkörpers bekannt geworden ift, fo ift diefer Druck mit dem Gewichte des Widerlagskörpers, deffen Tiefe wiederum rechtwinkelig zur Bildfläche gemeffen, wie es beim Gewölbe der Fall war, gleich der Längeneinheit genommen wird, zufammenzufetzen, um eine Mittelkraft zu beftimmen, welche die Aufftand- oder Fufsfläche der Widerlagsmauer in einem Punkte fchneidet, welcher von der äufseren Seitenkante noch einen genügend grofsen Abftand befitzt. Diefer Abftand, von der als Drehkante des Widerlagskörpers auftretenden Begrenzungslinie der Grundfläche aus gemeffen, liegt in der Kräfteebene und beträgt zweckmäfsig $\frac{1}{3}$ der Widerlagsftärke *d*. 23. Widerlagsftärke.

Um für den Gewölbfchub *H* bei der Ermittelung der Widerlagerftärke einen Wert zu erhalten, welcher thunlichft vorteilhaft noch gleichfam mit einem Sicherheitskoeffizienten behaftet ift, nimmt man an, dafs *H* nicht im höchften Punkte, fondern im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und dafs der Mittelpunkt der Kämpferfuge der Angriffspunkt des Kämpferdruckes ift, hervorgegangen aus *H* und dem Gewichte *G* des Gewölbes mit feiner Belaftung.

Da die Stärke des Widerlagers noch unbekannt, die Höhe desfelben aber in den meiften Fällen vorgefchrieben ift, fo hat man zunächft eine Widerlagsftärke zu wählen und darauf die Stabilitätsunterfuchung des als Widerlager auftretenden Stützkörpers entweder durch Rechnung oder oft einfacher und durchfichtiger auf graphifchem Wege vorzunehmen. Bei dem zuletzt genannten Wege wird eine Mittellinie des Druckes auch im Querfchnitte des Widerlagers eingezeichnet und diefe läfst erkennen, ob diefelbe bei der gewählten Stärke für jede Fuge im Widerlager bei der rechteckig gedachten Fugenfläche den bezeichneten äufseren Abftand $\frac{1}{3}$ der Stärke, von der Drehkante aus gemeffen, überfchreitet oder denfelben entfprechend innehält. Nach diefen Prüfungen find, wenn erforderlich, etwaige Veränderungen in den Stärkeabmeffungen des Widerlagers vorzunehmen.

In welcher Weife die Stabilitätsunterfuchung eines Tonnengewölbes und feines Widerlagers unter Benutzung der Verfahren der graphifchen Statik vorgenommen werden kann, möge an einem Beifpiele gezeigt werden. 24. Beifpiel.

Ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe, deffen Spannweite, gegebenen Gebäudeachfen entfprechend, 6,00 m betragen mufs, hat von der feften Baufohle ab nach aufsen freiftehende Widerlager, deren Höhe mit der Oberkante des Fufsbodens über dem Gewölbe in wagrechter Ebene abgegrenzt ift. Ueber dem Gewölbe ift ein leichter Schuppen vorhanden, welcher nur in den Binderfüfsen das Widerlager belaftet. Auf dem Gewölbe lagert durchgängig und gleichförmig verteilt als Brennftoff zu verwendende Koke in

einer Schütthöhe von $1,_{50}$ m. Das Gewölbe ist in den Zwickeln ausgemauert, sonst mit Sandschüttung und Fussbodenpflaster versehen, so dass die Oberfläche des letzteren $0,_{20}$ m über dem höchsten Rückenpunkte des Gewölbes liegt.

Für die Ausführung des Gewölbes und der Widerlager ist Backsteinmaterial bestimmt.

Da die Dichtigkeit der Koke gleich $0,_{42}$ und jene des Backsteinmauerwerkes gleich $1,_6$ ist, so beträgt das Gewicht der geschütteten Koke 420 kg für 1 cbm, dasjenige des Backsteinmauerwerkes 1600 kg für 1 cbm.

Um für die Stärke, welche dem Gewölbe gegeben werden muss, einen Anhalt zu gewinnen, sind die Gleichungen 48 u. 63 zu benutzen, nachdem die Gewölbebelastung durch das gleich grosse Gewicht von Backsteinmauerwerk ersetzt gedacht ist. Da für die Ausmauerung der Gewölbzwickel, für die Bettung des Fussbodenpflasters und für das letztere selbst die Dichtigkeit nahezu gleich derjenigen des Backsteinmauerwerkes angenommen werden kann, so ergiebt sich für diese Teile zunächst eine Belastungshöhe von $0,_{20}$ m über dem Gewölbrücken im Scheitellot und hierdurch eine erste wagrechte Belastungslinie.

Die Kokeschüttung ist in $1,_{50}$ m Höhe wagrecht abgeglichen, und es kann bei der vorläufigen Rechnung von den Seitenböschungen dieser Schüttung abgesehen, also die Schütthöhe für den ganzen Querschnitt des Gewölbes beibehalten werden. Der Abstand x der zugehörigen Belastungslinie, entsprechend dem Backsteinmaterial, von der festgelegten ersten Belastungslinie ergiebt sich offenbar durch den Ausdruck

$$1 \cdot 1 \cdot 1,_5 \cdot 420 = 1 \cdot 1 \cdot x \cdot 1600$$

als

$$x = \frac{1,_5 \cdot 420}{1600} = 0,_{394}\text{ m},$$

wofür $x = 0,_4$ m gesetzt werden soll. Somit entsteht eine gesamte Belastungshöhe

$$h = 0,_2 + 0,_4 = 0,_6\text{ m}$$

und demnach weiter, wenn die Gewölbstärke $d = d_1$ vorläufig zu $0,_{38}$ m gewählt, wenn ferner die wagrechte Aufmauerung des Widerlagers bis zum Bruchwinkel α von 60 Grad ausgeführt wird, beim Halbmesser $r = 3,_{00}$ m, sofort nach Gleichung 63

$$H = \frac{\frac{3}{4}}{6\left(0,_{38} + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)} \left\{ 9\left[3\,(0,_{38} + 0,_6) + 3 \cdot \frac{1}{4}\right] - 3\left(0,_{38} + 0,_6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} \cdot 0,_{38}{}^2\right) \right\} = 1,_{97}$$

und folglich nach Gleichung 48

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 1,_{97})\,1,_{97}} = \frac{18,_{727}}{50} = 0,_{3745}\text{ m}.$$

Hiernach ist d zu $0,_{38}$ m festzusetzen.

Für die Berechnung der Stärke d_1 der Widerlagsfuge ergiebt sich vorweg nach Gleichung 64

$$G = 3 \cdot 0,_{866}\left[0,_{38} + 0,_6 + \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot \frac{1}{4} + \left(0,_{38} + 0,_6 + 2 \cdot 3 \cdot \frac{1}{4}\right)\frac{0,_{38}}{3}\right] = 4,_{88},$$

sodann nach Gleichung 56

$$N = 0,_5 \cdot 1,_{97} + 0,_{866} \cdot 4,_{88} = 5,_2$$

und endlich nach Gleichung 53

$$d_1 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 5,_2)\,5,_2} = \frac{52,_7}{150} = 0,_{35}\text{ m},$$

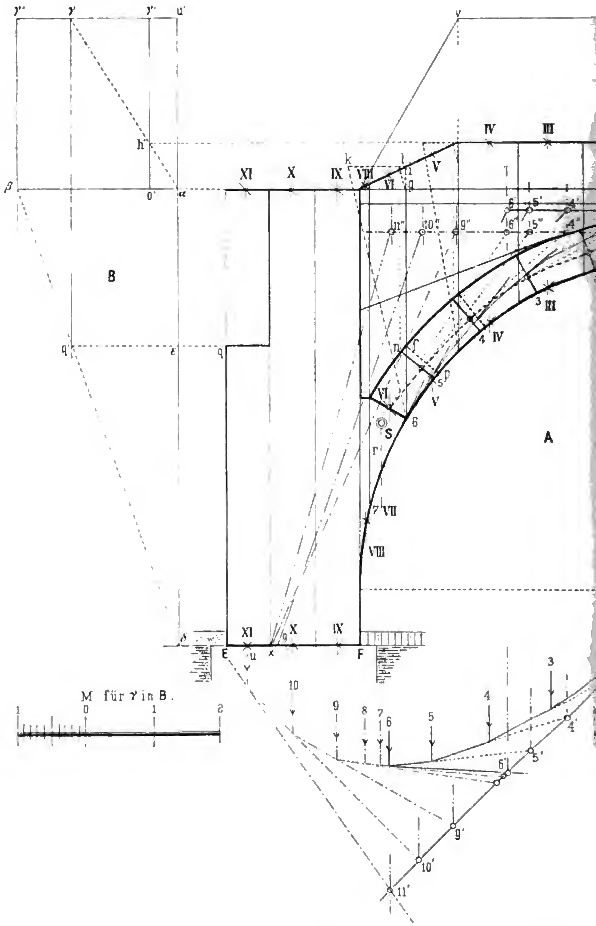
also kleiner als d, so dass $d_1 = d$ angenommen und das Gewölbe in gleicher Stärke ausgeführt werden kann.

Die Stärke des Gewölbwiderlagers soll einstweilen noch unbestimmt bleiben.

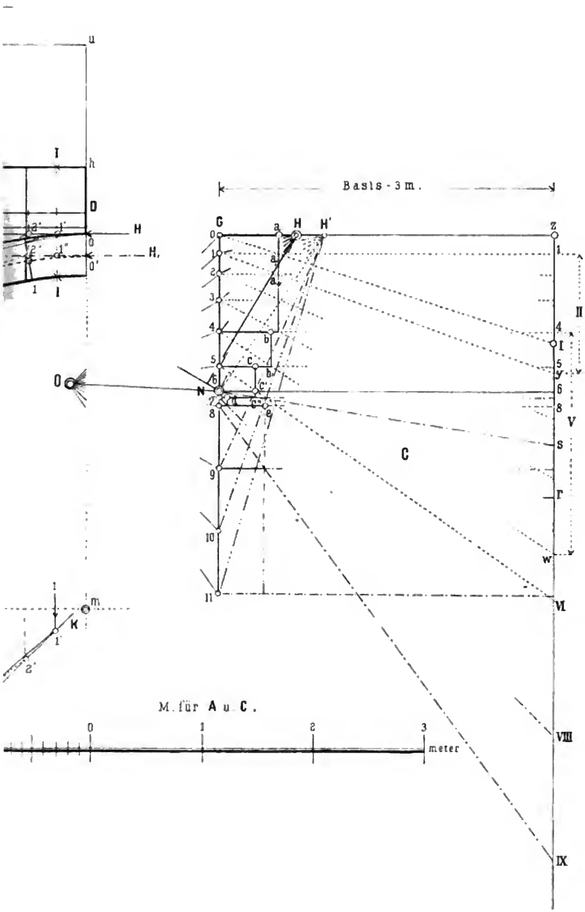
Nach diesen vorläufigen Ermittelungen ist auf der nebenstehenden Tafel im Plane A das Gewölbe samt seiner Belastung unter der Annahme aufgetragen, dass die Gewölbtiefe senkrecht zur Bildfläche gleich der Längeneinheit sei und dass auf der Widerlagsmauer für diese Tiefe keine weitere Last der Konstruktion des über dem Gewölbe befindlichen Schuppens ruhe.

Die Verwandelung der Kokeschüttung in Backsteinmauerung ist unter Berücksichtigung der Böschung dieser Schüttung im Plane B durch Zeichnung vorgenommen.

Ist allgemein γ die Dichtigkeit des Wölbmaterials W, γ_1 die Dichtigkeit des Belastungsmaterials S, so besitzt ein Körper des Materials S, dessen Grundfläche 1 qm, dessen Höhe h Met. beträgt, ein Gewicht $G_1 = 1 \cdot h\,\gamma_1 \cdot 1000$ kg und ein Körper des Materials W bei einer Grundfläche von 1 qm und einer Höhe x Met. ein Gewicht $G = 1 \cdot x\,\gamma \cdot 1000$ kg.



Stabilitätsunterfuchung eines fymmetrifch



Tonnengewölbes und feines Widerlagers.

Soll nun G gleich G_1 werden, fo folgt

$$x\gamma = h\gamma_1,$$

d. h.

$$\frac{x}{h} = \frac{\gamma_1}{\gamma},$$

wonach x als die fog. reduzierte oder erfetzte Belaftungshöhe leicht zu konftruieren ift.

Nimmt man im Plane B die Länge $u_1\gamma$ nach einem beliebigen Mafsftabe gleich der Mafszahl γ, hier gleich 1,6, und ebenfo $u_1\gamma_1$ nach demfelben Mafsftabe gleich der Mafszahl γ_1, hier gleich 0,43, fo wird, fobald auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege $u_1\alpha$ gleich der Schütthöhe Du des Planes A abgetragen und die gerade Linie $\alpha\gamma$ gezogen ift, in der Länge o_1h_1 der durch γ_1 zu $u_1\alpha$ geführten Parallelen $\gamma_1 o_1$ die reduzierte Belaftungshöhe erhalten; denn es ift

$$\frac{o_1 h_1}{\alpha u_1} = \frac{\gamma_1}{\gamma}.$$

Diefe reduzierte Belaftungshöhe ift, da uv wagrecht liegt, bis zu einer durch v im Plane A geführten Lotrechten beizubehalten, während von hier ab bis zur inneren Kante des Widerlagers die Belaftungslinie zufolge der Böfchung der Kokefchüttung geneigt in gerader Linie abfällt. Ift die obere Begrenzungslinie der gegebenen Belaftung von irgend welcher Geftalt, welche verfchiedene Höhen bedingt, die nach und nach zu reduzieren find, fo bleibt für jede einzelne Höhe das angegebene Verfahren dasfelbe. Die Verbindung der Endpunkte der reduzierten Höhen liefert die gefuchte Belaftungslinie.

Die Fläche des Gewölbquerfchnittes nebft der reduzierten Belaftungsfläche, wobei die Zwickelausmauerung und der Fufsbodenbelag mit Bettung einer weiteren Reduktion, wie vorhin angegeben, nicht bedurften, ift vermöge der vom Scheitellote aus fymmetrifch auftretenden Form und Belaftung des Gewölbes nur zur Hälfte dargeftellt. Durch lotrechte Teillinien ift diefelbe in Einzelftreifen oder Lamellen zerlegt, wobei eine Teillinie mit der durch v ziehenden Lotrechten zufammenfallend angenommen ift. Links von derfelben find noch 3 Teilftreifen von verfchiedener Breite eingefügt, von denen die eine mittlere durch Lotrechte begrenzt wird, welche durch die Grenzpunkte der Widerlagsfuge geführt find, eine Anordnung, welche in den meiften Fällen für diefe Fuge zweckmäfsig ift. Rechts von der durch v laufenden Teillinie find bis zum Scheitellote hm noch beliebig viele Teilftreifen, hier vier derfelben, von gleicher Breite genommen.

Die von den Teillinien begrenzten Teilftreifen können in ihren Flächen, da im allgemeinen verhältnismäfsig fchmale Stücke in der Zeichnung auftreten, für die praktifche Unterfuchung mit genügender Genauigkeit als Rechtecksflächen behandelt werden. Vielfach, und namentlich bei flachen Bogen, können auch die Strecken diefer Teillinien, welche innerhalb der Gewölbflächen liegen und hier von der inneren Wölblinie und der Rückenlinie abgefchnitten erfcheinen, fchon als Fugenlinien infofern gelten, als in denfelben die der Mittellinie des Druckes zukommenden Punkte in der Gewölbfläche aufgefucht werden. Bei den im Hochbauwefen auftretenden Tonnengewölben jedoch oder auch bei den Flachbogengewölben felbft, welche ab und an nur eine geringe oder faft gar keine Ueberlaft aufzunehmen haben, ift diefe Behandlung der Abfchnitte der Teillinien als Stücke, in welchen die Punkte der zu zeichnenden Mittellinie des Druckes aufgefucht werden, weniger angezeigt. Ebenfo ift es in den erwähnten Fällen auch nicht ganz ratfam, die Fugen, in welchen die Punkte der Drucklinie ermittelt werden follen, geradezu von den Schnittpunkten der Teillinien mit der Rückenlinie, z. B. als Fuge fp, auslaufen zu laffen, zumal mit Leichtigkeit in jedem Falle eine Gewölbfuge ermittelt werden kann, welche von der auf ihr ruhenden Belaftung in möglichft richtiger Weife getroffen und in welcher dann ebenfalls in möglichft zutreffendem Grade der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes zu beftimmen ift.

Sollte z. B. (Fig. 61) eine Fuge kl für eine beliebige Teillinie fe fo gefunden werden, dafs die Gewölbfläche mit der Belaftungsfläche von der Gröfse $bafe$ das auf diefe Fuge kl kommende Gewicht möglichft genau wiedergiebt, fo kann die folgende Ueberlegung Platz greifen. Es fei kl die richtige Fuge. Alsdann ruht auf derfelben ein Gewicht entfprechend der Fläche $apklb$. Diefe Fläche müfste der bei der Beftimmung der Mittellinie des Druckes in Rechnung oder hier im Sinne der graphifchen Statik in Behandlung genommenen Fläche $bafce$ gleich fein. Damit dies der Fall ift, müfste die Fläche lcq gleich Fläche $qffk$ fein. Dann würde auch Fläche leq + Fläche $eqkn$ = Fläche $qffk$ + Fläche $eqkn$ fein müffen, oder was dasfelbe ift, das als rechtwinkelige Dreiecksfläche anzufehende Stück lnk würde gleich fein müffen dem als fchmales Paralleltrapez zu behandelnden Streifen $efpn$, welcher auch genügend genau als Rechtecksfläche von der Breite fi gelten darf. Danach ift

$$\frac{nl \cdot kl}{2} = ef \cdot fi;$$

mithin ist auch

$$\frac{nl}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}kl}.$$

Hierin ist kl die normale Dicke des Gewölbes in l, aber, streng genommen, wie auch nl noch unbekannt. Zieht man jedoch durch den Schnittpunkt c der Teillinie ef mit der Rückenlinie des Gewölbes eine Hilfsfuge cd, so ist ohne nennenswerte Abweichung auch $cd = kl$ und $cd = nl$ zu nehmen, so dafs nun weiter

$$\frac{cd}{ef} = \frac{fi}{\frac{1}{2}cd}$$

wird. Nach diesem Ausdrucke läfst sich fi und dann die Lage der Fuge kl, welche der Teillinie ef zugehört, einfach durch Zeichnung ermitteln. Zieht man durch den gemeinschaftlichen Punkt f der Teil-

Fig. 61.

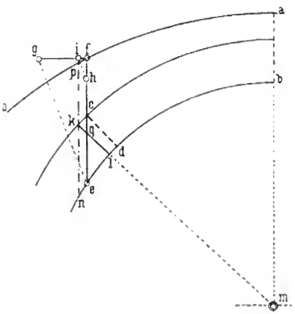
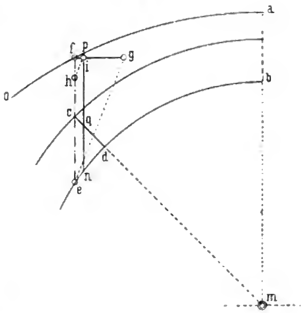


Fig. 62.



linie ef und der Belastungslinie die Gerade fg von der Länge gleich cd, trägt man auf der Teillinie ef die Strecke $fh = \frac{1}{2}cd$ ab, zieht man eg und hierzu durch h die Parallele hi, so wird fi die gesuchte Breite des vorhin erwähnten Streifens $effpn$. Zieht man zuletzt durch i die Parallele in zu ef, so trifft dieselbe den Gewölbrücken im Punkte k, durch welchen die gesuchte Fuge kl senkrecht zur inneren Wölblinie zu führen ist.

Ist umgekehrt eine Fuge cd (Fig. 62) gegeben, so wird auf Grund der gegebenen Ausführungen zunächst durch den Punkt c eine lotrechte Hilfsteillinie ef gelegt, $fg = cd$ und $fh = \frac{1}{2}cd$ abgetragen, nunmehr eg und die hierzu parallele Linie hi gezogen, um zuletzt in der durch i geführten Lotrechten pn die gesuchte Teillinie zu erhalten. Nach diesen Angaben sind auf der umstehenden Tafel im Plane A die Fugen 1 bis 5 des Gewölbes eingetragen.

Zur graphischen Ermittelung der Flächenwerte der einzelnen im allgemeinen als Paralleltrapeze erscheinenden Teilstreifen sind die mittleren Höhen II, $II\,II$ u. s. f. derselben bestimmt, und hierauf ist die Verwandelung der Teilflächen in Rechtecksflächen mit einer beliebigen Basis oz, hier zu 3 m gewählt, im Plane C vorgenommen.

Diese Verwandelung oder die sog. Reduktion der Teilstreifen auf eine bestimmte Basis hat den Zweck, ihre durch Linien darzustellenden Flächen-, bezw. Gewichtswerte in einer für die weitere zeichnerische Behandlung geeigneten Länge zu erhalten.

So ist im Plane C auf der senkrechten z-Linie die Strecke zI gleich der mittleren Höhe II des ersten Teilstreifens, dessen Gewicht für die Gewölbfuge 1 in Betracht kommt, abgesetzt; auf der wagrechten Linie oz ist die Länge oa gleich der Breite dieses ersten Teilstreifens abgeschnitten, durch a

die Parallele zu $z\,1$ gelegt und hierauf die Linie $o\,1$ gezogen, welche auf der Linie a die Strecke $a\,a_1$ als reduzierte Höhe des ersten Teilstreifens abschneidet.

Die durch a_1 parallel zu $o\,z$ gezogene Linie liefert auf der Gewichtslinie G die Strecke $o\,1$, welche nach dem für die Zeichnung der Pläne A und C benutzten Maßstabe zu messen und mit der Basiszahl, hier 3 m, zu multiplizieren ist, um sofort den Flächeninhalt des ersten Teilstreifens in Quadr.-Met., oder auch, da die Gewölbtiefe zu 1 m angenommen war, den körperlichen Inhalt dieses Teilstreifens in Kub.-Met. zu liefern.

Denn mit Bezugnahme auf die Zeichnung ist

$$\frac{a\,a_1}{o\,a} = \frac{z\,1}{o\,z},$$

d. h.

$$a\,a_1 \,.\, o\,z = o\,a \,.\, z\,1$$

oder

$$a\,a_1 \,.\, 3\ \mathrm{qm} = o\,a \,.\, z\,1\ \text{Quadr.-Met.},$$

gleich der Fläche des ersten Streifens.

Die Zeichnung liefert $a\,a_1 = o\,1$ zu $0{,}17$ m; daher besitzt der erste Teilstreifen einen Flächeninhalt von $0{,}17 \,.\, 3 = 0{,}51$ qm und bei der Tiefe von 1 m auch $0{,}51$ cbm.

Da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg wiegt und alle Abmessungen für die in Rechnung zu bringenden Gewölbe- und Belastungsflächen auf Backsteinmauerwerk zurückgeführt sind, so würde der Körper des ersten Teilstreifens ein Gewicht von $0{,}51 \,.\, 1600 = 861$ kg besitzen.

In gleicher Weise ist auch der zweite Streifen auf die gewählte Basis reduziert; die mittlere Höhe $II\,II$ ist auf der z-Linie nun von 1 bis $y = II$ abgetragen, der Reduktionsstrahl von der G-Linie aus als $1\,y$ geführt, und da die Breite des zweiten Streifens ebenfalls $= o\,a = 1\,a_1$ ist, die reduzierte Höhe $a_1 a_{11} = 1\,2$ sofort abgeschnitten. Beim fünften Streifen ist eine Aenderung der Breite zu bemerken. Für diesen Streifen ist die mittlere Höhe $V\,V$ von 4 bis w auf der z-Linie abgetragen, die Breite $4\,b$ auf der wagrechten Linie $4\,4$ abgeschnitten und vermittels des Reduktionsstrahles $4\,w$ die reduzierte Höhe $b\,b_1 = 4\,5$ bestimmt.

Für die eigentliche Gewölbfläche kommen im ganzen sechs Teilstreifen in Frage. Die Summe aller zugehörigen reduzierten Höhen ist gleich der Strecke $o\,6$ im Plane C. Die Strecke $o\,6$ misst $1{,}40$ m; mithin wird $1{,}4 \,.\, 3 = 4{,}2$ qm als gesamter Flächeninhalt der Gewölbfläche mit Belastung gefunden.

Bei der vorläufigen Berechnung von G, welche Größe an die Stelle des gesamten Flächeninhaltes zu treten hatte, wurde hierfür ohne Rücksicht auf die Seitenböschung der Schüttung $4{,}44$ qm ermittelt.

Nach dem Festlegen der Gewichte der einzelnen Teilstreifen, welche in den zugehörigen Schwerpunkten derselben angreifen, ist weiter eine Mittellinie des Druckes für das Gewölbe konstruiert, welche vorweg dem möglich kleinsten Gewölbschub entspricht. Hierbei ist das folgende Verfahren beobachtet.

Bei der an und für sich geringen Breite der Streifen kann die trapezartige Fläche derselben ohne wesentlichen Fehler als Rechteck angesehen werden, so dafs der Schwerpunkt dieser Flächen in der Mittellinie derselben liegt.

Zeichnet man nun für die in $I\,I$, $II\,II$ u. s. f. wirkenden Gewichte, bezw. für die Linienstrecken, welche dieselben als $o\,1$, $1\,2$ u. s. f. im Plane C darstellen, unterhalb des Planes A ein Hilfsseilpolygon mit Benutzung des an sich willkürlich außerhalb der G-Linie gewählten Poles O, so erhält man auf dem äußersten Seilstrahle K in $2'$ einen Punkt, durch welchen das resultierende Gewicht aus 1 und 2, in $3'$ einen Punkt, durch welchen das resultierende Gewicht aus 1, 2 und 3 u. s. f., im Punkte $6'$ einen Punkt, durch welchen das resultierende Gewicht aller Einzelgewichte von 1 bis 6 in lotrechter Richtung wirken muß.

Für den möglich kleinsten Gewölbschub H, welcher im vorliegenden Falle wagrecht gerichtet ist, weil das Gewölbe in Bezug auf das Scheitellot symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist, und welcher bei näherer Untersuchung eine mögliche Mittellinie des Druckes liefert, ist der höchste Punkt o der gedachten Scheitelfuge als Angriffspunkt genommen, während gleichzeitig als Durchgangspunkt der aus dem Schube H und dem Gesamtgewichte G entstehenden resultierenden Pressung der tiefste Punkt der Widerlagsfuge 6 angenommen ist. Um die Größe von H unter diesen Annahmen zu ermitteln, ist durch o die wagrechte, durch 6_1 der Linie K die lotrechte Linie geführt, welche sich auf der ersteren im entsprechenden Punkte $6'$ schneiden. Zieht man im Plane A von der Vorderkante 6 der Widerlagsfuge aus den Strahl $6\,6'$, so ist hiermit die Lage der Mittelkraft aus H und G bestimmt.

Führt man hierauf im Plane C durch den Punkt 6 der Linie G die Parallele zu jenem Strahle $6\,6'$, so ergiebt sich im Abschnitte $H\,o$ auf der durch o geführten Wagrechten $o\,z$ der gesuchte Gewölbschub H. Nach dem Maßstabe bestimmt, ist die Strecke $H\,o = 0{,}67$ m, folglich $H\,o$ selbst gleich $0{,}67$ mal Basiszahl, also $H\,o = 0{,}67 \,.\, 3 = 2{,}01$ qm, bezw. $2{,}01$ cbm.

Setzt man nunmehr H nach und nach mit den auf die einzelnen Fugen des Gewölbes gelangenden Gewichten zusammen, so erhält man für die Fuge 1 ein Gewicht 1 = Strecke $o\,1$ im Plane C. Der Punkt $1'$ auf der Linie $H\,o$ im Plane A entspricht der Richtungslinie des Gewichtes $o\,1$. Zieht man im Plane C den Strahl $H\,1$ und hierzu durch den Punkt 1 im Gewölbplane die Parallele, bis die Fuge 1 getroffen wird, so ist dieser Punkt ein Punkt der Mittellinie des Druckes.

Bis zur Fuge 2 kommen die Gewichtsstrecken $o\,1 + 1\,2$ in Betracht; das aus beiden resultierende Gewicht wirkt in der Lotrechten $2'\,2'$; mithin geht die resultierende Pressung, welche im Plane C durch den Strahl $H\,2$ ausgedrückt wird, durch den Punkt $2'$ der Linie $H\,o$ im Plane A. Zieht man also durch diesen Punkt $2'$ die Parallele zu dem bezeichneten Strahle $H\,2$, bis dieselbe die Fuge 2 trifft, so ist ein zweiter Punkt der Mittellinie des Druckes gefunden. Das hiermit angegebene Verfahren wird in gleicher Weise für alle Fugen beobachtet. Die für $H\,o$ erhaltene Mittellinie des Druckes $o\,6$ verbleibt der Zeichnung zufolge ganz in der Gewölbfläche, so dass Gleichgewicht gegen Drehung vorhanden ist.

Da die auf die einzelnen Fugen kommenden Pressungen mit den Senkrechten zu den Fugen, je für sich betrachtet, Winkel einschliessen, welche weit kleiner bleiben, als der Reibungswinkel des Materials, welcher im allgemeinen zu 35 Grad, bezw. in besonderen Fällen bei frischem Mörtel zu 27 Grad angenommen werden kann, so ist auch Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden. Die letztere Untersuchung ist in der Zeichnung nicht besonders mitgeteilt, auch für die Ausführung hier weniger von Bedeutung, weil die Gefahr, dass ein Gewölbe infolge des Gleitens der Wölbsteine nicht standfähig ist, selten vorhanden ist, ausserdem aber auch leicht durch entsprechende Anordnung des Fugenschnittes, z. B. senkrecht zur Mittellinie des Druckes, beseitigt werden könnte.

Das untersuchte Gewölbe wird also als stabil gelten, vorausgesetzt, dass für den nun auf graphischem Wege gefundenen Gewölbschub $H\,o = 2{,}01$ die früher durch vorläufige Rechnung für den Gewölbschub $H = 1{,}97$ erhaltene Gewölbstärke von $0{,}38$ m auch zutreffend ist.

Nach Gleichung 48 würde nunmehr

$$d = \frac{1}{50}\sqrt{(180 - 2{,}01)\,2{,}01} = 0{,}378 \text{ m}$$

oder abgerundet $d = 0{,}38$ m werden, also mit dem angenommenen Werte in Uebereinstimmung bleiben. Um den Normaldruck N für die Widerlagsfuge 6 zu erhalten, ist im Plane C durch den Punkt 6 nur die Parallele $6\,N$ zu dieser Widerlagsfuge zu ziehen und das Lot $H\,N$ von H auf $6\,N$ zu fällen. Alsdann ist $N = H\,N$ mal Basiszahl.

In der Zeichnung ist $H\,N = 1{,}56$ m; mithin wird $N = 1{,}56 \,.\, 3 = 4{,}68$ qm, bezw. $4{,}68$ cbm. Da früher unter Vernachlässigung der Böschung der Kokeschüttung N zu $5{,}2$ qm, also grösser gefunden wurde und für diesen Wert die Stärke d_1 schon unter $0{,}38$ m blieb, so ist auch nach der neuen Untersuchung d_1 zu $0{,}38$ m, also gleich d beizubehalten.

Da für Backsteingewölbe die Gewölbstärke im Scheitel nach Steinlängen bestimmt wird, so empfiehlt es sich, nach Gleichung 48, bezw. Gleichung 53 für die verschiedenen derartigen Stärken d die Grenzwerte von H und N zu berechnen. In der folgenden Tabelle sind die zugehörigen Werte von H und N für d von ½ bis 2½ Steinstärke zusammengestellt.

d	½ Stein = $0{,}12$ m	1 Stein = $0{,}25$ m	1½ Stein = $0{,}38$ m	2 Stein = $0{,}51$ m	2½ Stein = $0{,}64$ m	
H	$0{,}2$	$0{,}87$	$2{,}03$	$3{,}69$	$5{,}88$	Quadr.-Met.
N	$0{,}6$	$2{,}61$	$6{,}09$	$11{,}07$	$17{,}64$	

Aus dieser Tabelle ergiebt sich für das untersuchte Gewölbe, welches einem Gewölbschube von $2{,}01$ qm ausgesetzt ist, dass im Falle einer grösseren Belastung für das Gewölbe, wie solche durch die Kokeschüttung gegeben war, der für $0{,}38$ m Stärke eintretende Grenzwert $2{,}03$ für H überschritten würde und dass dann die Gewölbstärke im Scheitel schon zu 2 Steinlängen genommen werden müsste.

Da ein Gewölbe unbedingt stabil ist, wenn für dasselbe eine Mittellinie des Druckes möglich ist oder eintreten kann, welche die Mittelpunkte aller Fugen trifft, so ist im Plane A noch zur weiteren Prüfung des Gewölbes eine Mittellinie des Druckes gezeichnet, wobei der Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge und der Mittelpunkt VI der Widerlagsfuge als Endpunkte dieser neuen Mittellinie des Druckes angenommen sind.

Auf der wagrechten Linie $H_1 o_1$ find alsdann die den Punkten $1'$, $2'$ u. f. f. der Linie Ho, bezw. der Linie K entfprechenden Punkte $1''$, $2''$ u. f. f. bis $6''$ feftgelegt. Der Gewölbfchub $H'o$, welcher für die Mittellinie des Druckes $o_1 VI$ mafsgebend wird, ift beftimmt, fobald im Plane A der Strahl $6'' V$ und hierzu parallel im Plane C der Strahl $6 H_1$ gezogen wird. Derfelbe beträgt $0{,}95 \cdot 3 = 2{,}85$ qm, ift alfo um das $\frac{2{,}85}{2{,}01}$-fache oder etwa 1,4 fache gröfser, als der Gewölbfchub Ho.

Die Konftruktion der Mittellinie des Druckes erfolgt in gleicher Weife, wie früher, nur dafs jetzt die durch $1''$ geführte Preffungslinie der Fuge 1 parallel mit $H_1 1$, die durch $2''$ geführte Preffungslinie der Fuge 2 parallel mit $H_1 2$ läuft u. f. f.

Die hiernach gezeichnete Mittellinie des Druckes geht nahezu durch die Fugenmitten, fo dafs nunmehr die Prüfung der Stabilität des Gewölbes abgefchloffen werden kann.

Zur Auffindung der Stärke des Widerlagers ift vorweg angenommen, dafs die Grundfläche desfelben in der Ebene EF als feft gilt und dafs der Endpunkt x einer im Widerlager von einem Gewölbfchube $H_1 o$ abhängigen Mittellinie des Druckes die Widerlagerfuge in einem Abftande $Ex = \frac{1}{3} EF$ von der äufserften durch E gehenden Drehkante trifft. Selbftredend ift die Tiefe des Widerlagers wie beim Gewölbe gleich der Längeneinheit. Die Höhe desfelben ift durch die mit D zufammenfallende wagrechte Ebene gegeben.

Bei Ausführung des bis zur Bruchfuge wagrecht vorgemauerten Kämpferftückes ift diefes nebft dem darüber liegenden fchmalen Streifen mit zum Widerlager zu rechnen. Ueber $6\,7$ im Plane A liegt eine als Dreiecksfläche aufzufaffende Teilfläche, deren Schwerpunkt S leicht zu beftimmen, deren Grundlinie gleich r und deren Höhe gleich der Breite des Streifens VI ift, welche im Plane C als $6 c_1$ eingetragen war. Der Flächeninhalt diefes Dreieckes ift alfo $\frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$. Da diefe Fläche auf die gewählte Bafis zu reduzieren ift, d. h. in ein Rechteck verwandelt werden mufs mit der beftimmten Bafis oz und einer noch unbekannten Höhe η_1, fo mufs $\eta_1 \cdot oz = \frac{1}{2} r \cdot 6 c_1$ oder

$$\frac{\eta_1}{\frac{1}{2} r} = \frac{6 c_1}{oz}$$

fein. Trägt man daher die Länge r als Strecke $6r$ auf der z-Linie ab, halbiert diefelbe in s, zieht den Reduktionsftrahl $6s$, fo wird auf der durch c_1 geführten Lotrechten die Strecke $c_, c_{,,}$ abgefchnitten und $6\,7 = c_, c_{,,}$ ergiebt das Gewicht des Stückes VII. Endlich ift auch noch die Strecke $7\,8$ als Gewicht des fchmalen Streifens $VIII$ in der genügend angegebenen Weife beftimmt. Seitlich von der durch F geführten Lotrechten beginnt der Widerlagskörper. Zunächft ift ein Streifen IX von beliebiger, aber nicht übertriebener Breite angenommen und das Gewicht im Plane C als Strecke $8\,9$ ermittelt. Setzt man nun die Zeichnung des Hilfsfeilpolygons für die Gewichte 7, 8 und 9 fort, fo wird auf der Linie K der Punkt $9'$ erhalten. Durch $9'$ zieht die Lotrechte, welche der Lage des refultierenden Gewichtes aller Einzelgewichte von o bis 9 der Gewichtslinie G entfpricht. Der Schnittpunkt $9''$ auf der Linie $H_1 o_1$ ift Angriffspunkt der refultierenden Preffung. Zieht man im Plane C den Strahl $H_1 9$, fo erhält man diefelbe in diefem Strahle. Führt man im Plane A die Gerade $9''\,9$ parallel zu $H_1 9$, fo fällt der Punkt 9 der Richtung jener Preffung über die Grenzlinie des Streifens hinaus; folglich würde beim erften Streifen noch kein Gleichgewicht gegen Drehen auf der Ebene EF vorhanden fein. Fügt man deshalb noch einen zweiten Streifen X, deffen Breite hier gleich der Streifenbreite von IX genommen ift, dem Widerlager hinzu und verfährt in der angegebenen Weife, fo trifft die durch $10_{,,}$ parallel zu $H'\,10$ refultierende Preffung die Fuge EF nahezu an der Grenzlinie des Streifens X, fo dafs nunmehr beim Gewölbfchub $H_1 o$ eben Gleichgewicht gegen Drehung eintreten würde.

Fügt man endlich noch einen oder mehrere Teilftreifen hinzu und ftellt dem gegebenen Verfahren gemäfs die Schnittpunkte x auf der Fuge EF der zugehörigen refultierenden Preffungen feft, fo gelangt man fchliefslich dahin, die Lage des Punktes x fo zu erhalten, dafs $Ex = \frac{1}{3} EF$ wird.

In der Zeichnung trat diefer Fall ein, nachdem noch der dritte Streifen XI hinzugefügt war, fo dafs EF die gefuchte Widerlagsftärke ift. Diefelbe beträgt 1,20 m, alfo bei der Spannweite des Gewölbes von 6 m genau $\frac{1}{5}$ diefer Weite.

Sollte die Aufsenfeite des Widerlagers in der Stärke von durchfchnittlich 0,40 m, entfprechend der

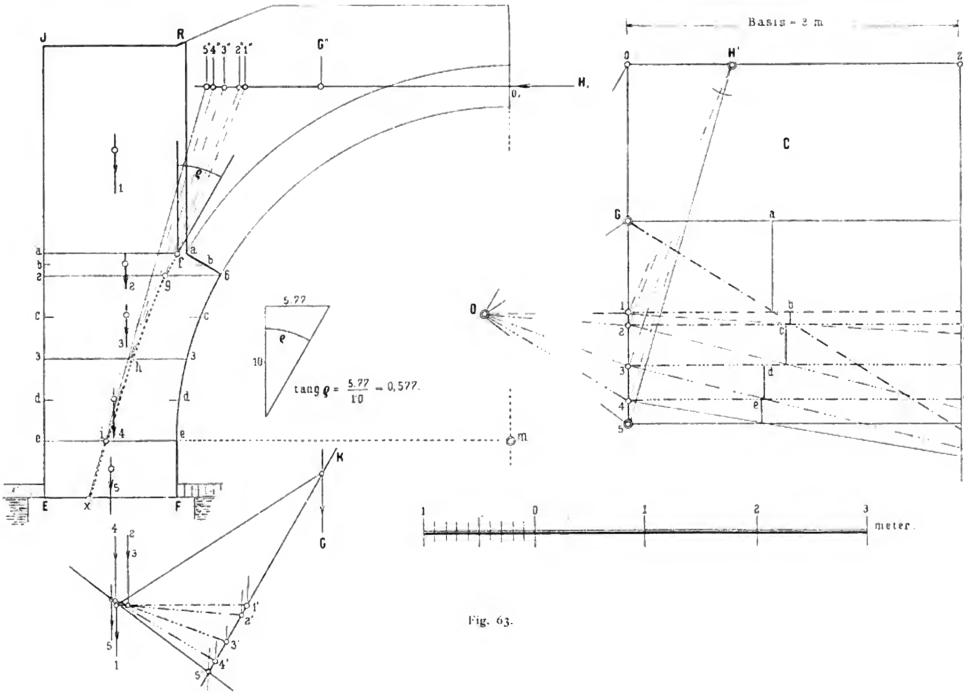


Fig. 63.

Breite des letzten Teilftreifens, aus Sandfteinquadern mit der Dichtigkeit $\gamma_{\prime\prime} = 2{,}4$ ausgeführt werden, fo würde, wenn weder die Gröfse des Gefamtgewichtes *o* bis *11*, noch die Lage des Punktes *x* verändert werden dürfte, die Höhe *Eq* diefer Quaderbekleidung mit Hilfe des Planes *B* fich einfach beftimmen laffen. Hierin ift $\delta\alpha$ die Höhe des vollftändig aus Backfteinmauerwerk hergeftellten Widerlagers. Trägt man auf der wagrechten Linie $\alpha\beta$ die Strecke $\alpha\beta = 2{,}4$ ab, zieht man hierauf $\delta\beta$, fo fchneidet diefer Strahl die lotrechte Linie γ im Punkte q_1; die durch q_1 parallel zu $\alpha\beta$ geführte Linie giebt auf der Lotrechten $\delta u'$ den Schnittpunkt ε, und man erhält alsdann in $\delta\varepsilon$ die gefuchte Höhe *Eq* der Quaderverkleidung. Das Gewicht diefes Quaderftückes ift gleich dem Gewichte des aus Backfteinmauerwerk beftehend gedachten Teilftreifens *XI*; denn es ift bei gleicher Grundfläche der beiden Körper

$$\frac{\delta\varepsilon}{\delta\alpha} = \frac{\gamma}{\gamma_{\prime\prime}}, \text{ alfo } \delta\alpha\gamma = \delta\varepsilon\gamma_{\prime\prime},$$

wie es fein foll. Oberhalb *q* entftände ein Sockelabfatz von der Breite des Teilftreifens *XI*, und danach könnte das Backfteinmauerwerk wieder beginnen.

Das Mauerwerk des Widerlagers wird jedoch in den meiften Fällen in wagrechten Schichten ausgeführt, und es entfteht dann die Frage, wie fich bei folcher Anordnung die Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper geftaltet.

In Fig. 63 ift für das bereits feiner Stärke nach ermittelte, aus Backfteinmauerwerk bestehende Widerlager die Mittellinie des Druckes *f g h i x* für wagrechte Schichten eingezeichnet. Auf der wagrechten Fuge *a a* ruht der Körper *a a R J*. Sein Gewicht *1* wirkt in der Schwerlinie *1*. Ferner kommt für diefe Fuge das Gewicht *G* der Gewölbhälfte mit feiner Belaftung und der Gewölbfchub $H_1 o$ in Betracht, welche fofort von der Tafel bei S. 58 entnommen find, fo dafs, unter Beibehaltung derfelben Verwandlungsbafis $o z = 3^{\text{m}}$, nun auch *o G* der Strecke *o 6*, $H_1 o$ der Strecke $H_1 o$ entfprechend wieder benutzt find. Die Gewichtsftrecke *G 1* des bezeichneten Teilftückes ift im Plane *C* in bekannter Weife ermittelt. Nach der Zeichnung des Hilfs-Seilpolygons mit Benutzung des beliebigen Poles *O* ergiebt fich auf dem Strahle *K* der Punkt *1'*, durch welchen die Mittelkraft aus *o G* und *G 1* zieht. Die Zufammenfetzung derfelben mit dem durch den Mittelpunkt o_1 der gedachten Scheitelfuge gerichteten wagrechten Gewölbfchube $H_1 o$ erfolgt im Punkte *1''*. Der Strahl *1'' f* parallel zu $H_1 1$ des Planes *C* geführt, giebt in *f* einen Punkt der Mittellinie des Druckes im Widerlager.

Ueber der Fuge *2 6* gefellt fich dem Gewichte von *a a R J* noch das Gewicht des Teilftreifens *2 6 a a* mit der mittleren Breite *b b* hinzu. Der Schwerpunkt desfelben ift leicht zu beftimmen. Im Plane *C* ift für die Reduktion diefer Breite gemäfs *1 b = b b* genommen, *1 2'* auf der Linie *z* gleich der Höhe *2 a* des Streifens abgetragen und durch den Reduktionsftrahl *1 2'* die Gewichtsftrecke *b c = 1 2* erhalten. Im Seilpolygon ift die weitere Zufammenfetzung der Gewichte *o G*, *G 1* und *1 2* zu einer durch *2'* der Linie *K* gehenden Mittelkraft bewirkt und diefe in *2''* mit dem Gewölbfchube $H_1 o$ vereinigt. Die dann fich ergebende refultierende Preffung ift für die Fuge *2 6* gleich und parallel $H_1 2$ des Planes *C*. Zieht man *2'' g* dementfprechend parallel $H_1 2$, fo erhält man in *g* einen Punkt der Mittellinie des Druckes für die Fuge *2 b*.

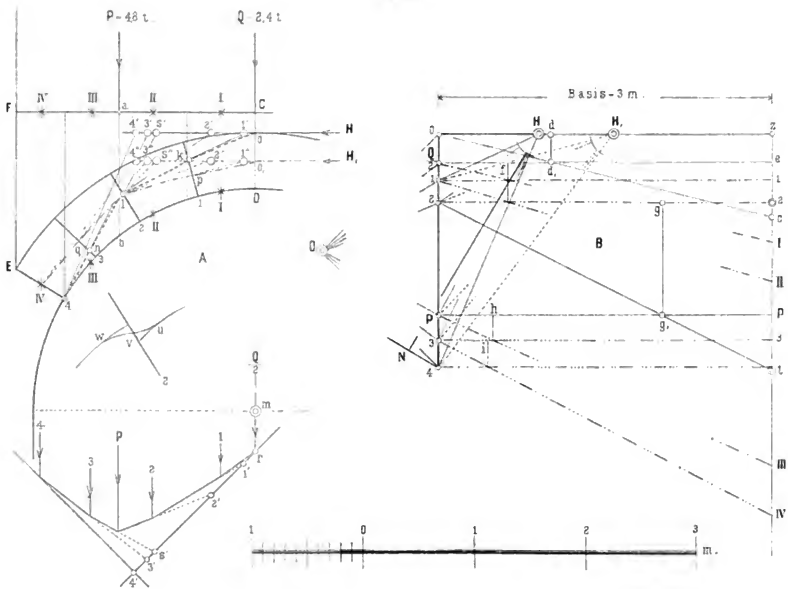
Nach diefem Verfahren ift, wie aus der Zeichnung erfichtlich wird, für jede weiter folgende Fuge der zugehörige Punkt der Mittellinie des Druckes, welche als Linienzug *f g h i x* auftritt, im Widerlager gefunden. Hier fei noch bemerkt, dafs die Lage des Punktes *x* auf der Fuge *E F* der Grundfläche mit derjenigen auf der Tafel bei S. 58 übereinftimmen, dafs ferner die Strecke *G 5* wieder gleich der Strecke *6 11* jener Figur gefunden werden mufs, weil an der Gefamtheit des Querfchnittes vom Gewölbe und vom Widerlager keine Aenderung eingetreten ift.

Die gefundene Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Fläche des Widerlagers. Die refultierenden Preffungen für die einzelnen Fugen fchliefsen mit den ihnen zugehörigen Senkrechten einen Winkel ein, welcher, wie bei der Fuge *a a* für die am ftärkften geneigte Preffungslinie *1'' f* gezeigt ift, kleiner bleibt, als der hier zu 30 Grad angenommene Reibungswinkel ρ, wofür $\operatorname{tg} \rho = 0{,}577$ ift, fo dafs für das Widerlager fich Gleichgewicht gegen Drehung und gegen Gleiten ergiebt.

In befonderen Fällen, wenn z. B. die als Gurtbogen auftretenden kürzeren Gewölbe aufser einer ftetig oder unftetig verteilten Belaftung noch an beftimmten Stellen gröfsere Einzelgewichte als Belaftung aufzunehmen haben, ift ftets eine forgfältige Prüfung der Stabilität diefer Gewölbe erforderlich und immer die Ermittelung der Mittellinie des Druckes für das Gewölbe nebft Widerlager angezeigt. 25. Einzellaften.

Eine derartige Unterfuchung ift in Fig. 64 ausgeführt.

Fig. 64.



Das aus Backstein auszuführende Gewölbe ist 4 m weit gespannt und trägt aufser der durch CF begrenzten Ueberlast noch im Scheitel eine Einzellast von $Q = 2{,}4$ Tonnen, rechts und links von dem Scheitellote noch je eine Last $P = 4{,}8$ Tonnen, so dafs dieses Gewölbe symmetrisch geformt und symmetrisch belastet ist. Die Gewölbstärke sei zu 2 Steinstärken = 0,51 m angenommen. Die Untersuchung ist wieder unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit geführt. Da die Einzellasten durch das gleiche Gewicht einer Steinsäule von quadratischer Grundfläche, deren Seitenlänge beliebig genommen werden könnte, hier aber zu 1 m genommen werden soll, und einer Höhe x erfetzt werden müssen, so erhält man, da 1 cbm Backsteinmauerwerk 1600 kg = 1,6 t wiegt, für die Last Q sofort

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 2{,}4, \text{ also } x = 1{,}5 \text{ m}$$

und für die Last P danach

$$x \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1{,}6 = 4{,}8, \text{ d. h. } x = 3 \text{ m}.$$

Die Lage von Q und P darf nicht geändert werden, und aus diesem Grunde wird am zweckmäfsigsten eine zugehörige Teillinie C, bezw. a durch den Angriffspunkt der Einzellasten gelegt und diesen Teillinien entsprechend auch die zugehörige Gewölbfuge, unter Beibehaltung der Belastungslinie CF der ursprünglichen, stetigen oder unstetigen, hier wagrecht abgegrenzten Belastung, wie früher angegeben, gezogen.

Von der in der gedachten Scheitelfuge Do wirkenden Einzellast Q kann hier nur die Hälfte, also $\frac{1{,}5}{2} = 0{,}75$ m, oder, da die Grundfläche der gedachten Steinsäule 1 m als vordere Seitenlänge besitzen soll, 0,75 qm, bezw. 0,75 cbm in Betracht genommen werden, weil der symmetrischen Anordnung halber nur eine Gewölbhälfte zur Untersuchung zu kommen braucht.

Sind diese Punkte festgesetzt, so erfolgt das weitere Zerlegen der Gewölbe- und Belastungsfläche $D\,4\,E\,F\,C$ in beliebig viele, auch beliebig breite Teilstreifen nebst Angabe der ihren Teillinien zukommenden Gewölbfugen, gleichgiltig, ob diese Fugen mit jenen später bei der Ausführung des Gewölbkörpers zusammenfallen werden oder nicht, und hierauf, ganz wie im vorhergehenden erörtert, auch die Reduktion ihrer Flächen auf eine gewählte Basis. Hierbei ist nur zu beachten, dafs auch die Gewichte der Einzellasten in richtiger Reihenfolge vor dem antretenden Teilstreifen eingefügt und gleichzeitig auf jene Basis reduziert werden. So ist das Gewicht $\frac{Q}{2}$ entsprechend 0,75 qm als erster Bestandteil in folgender Weise reduziert.

Auf der z-Linie des Planes B ist $zc = 0{,}75$ m, auf der Linie oz dagegen $od = 1$ m abgetragen. Der Reduktionsstrahl oc liefert die Gewichtsstrecke dd_1 gleich der Strecke o bis $\frac{Q}{2}$. Hierauf sind die Gewichtsstrecken für die Teilstreifen I und II von $\frac{Q}{2}$ bis 1 und von 1 bis 2 bestimmt, und sodann ist die Reduktion der Einzellast $P = 3$ qm entsprechend bewirkt.

Statt hierbei eine Länge von 3 m und eine Breite von 1 m zu benutzen, ist, um das Auftragen einer grofsen Länge zu vermeiden, welche unter Umständen nicht mehr auf die Zeichenfläche gebracht werden könnte, eine Länge $2\,t$ auf der z-Linie gleich $\frac{3}{n}$, hier $= \frac{3}{2} = 1{,}5$ m und auf der Linie $2\,2$ eine Breite 2 bis $g = n \cdot 1$ Met., also hier, da $n = 2$ gewählt ist, gleich 2 m abgeschnitten. Der Reduktionsstrahl $2\,t$ liefert nun ebenfalls die richtige Gewichtsstrecke $gg_1 = 2P$ für die Einzellast P. Endlich sind noch die Teilstreifen III und IV reduziert, und es ist in o bis 4 im Plane B die gesamte Gewichtsstrecke festgelegt.

Wie für die Tafel bei S. 58 beschrieben, ist nunmehr die Konstruktion einer Mittellinie des Druckes $o\,k\,l\,n\,4$ für den möglich kleinsten, in o angreifend genommenen Gewölbschub Ho und ferner eine solche $o_1\,p\,l\,q\,VI$ für einen Gewölbschub H_1o ausgeführt, wobei die Endpunkte dieser Mittellinie des Druckes die Halbierungspunkte der Scheitelfuge Do und der Widerlagsfuge $4\,E$ bilden. In Fig. 64 treffen die von $2'$ und S' nach der Fuge 2 laufenden Richtungen der Pressungen, abgesehen davon, dafs auch die von o_1 ausgehende Mittellinie des Druckes durch diesen Punkt zieht, ganz nahe im Punkte l zusammen.

Dieses Zusammentreffen ist jedoch häufig nicht der Fall. Die Mittellinie des Druckes bleibt aber vermöge der Prefsbarkeit des Materials stetig und würde etwa bei der Fuge 2 den im Plane A unterhalb der Fuge 2 angegebenen Verlauf $u\,v\,w$ nehmen. Für die Untersuchung des Widerlagers dieses Gewölbes möge auf die Tafel bei S. 58 u. auf Fig. 63 verwiesen werden.

Noch erübrigt die Prüfung der Gewölbstärke. Der Gewölbschub Ho wird nach der Zeichnung gefunden als $Ho = 0{,}9 \cdot 3 = 2{,}7$ qm, während der Normaldruck für die Widerlagsfuge $4\,E$

$$HN = 2{,}28 \cdot 3 = 6{,}84 \text{ qm}$$

wird. Nach der Tabelle auf S. 62 mufs alfo das Gewölbe durchgängig 2 Stein ftark genommen werden, da bei $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke H nur $2{,}03$ qm, N nur $6{,}09$ qm ift. Da die Mittellinie des Druckes für H_0 ganz in der Gewölbfläche verbleibt, auch in den Fugen der Reibungswinkel nicht überfchritten wird, fo ift das entworfene und unterfuchte Gewölbe ftabil.

26. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Damit für die Widerlagsftärke von vornherein ein ungefahrer Wert Berückfichtigung finden kann, benutzt man wohl einige empirifche Regeln, und zwar nimmt man bei Tonnengewölben, wobei die Oberkante der Widerlager in einer durch den höchften Punkt des Gewölbrückens gelegten wagrechten Ebene begrenzt ift, die Stärke der Widerlager:

bei einer Halbkreisbogenlinie zu $\frac{1}{5}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien (Ellipfen, Korbbogen) mit bis $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnis zu $\frac{1}{4}$ der Spannweite;

bei gedrückten Bogenlinien mit weniger als $\frac{1}{4}$ Pfeilverhältnis zu $\frac{2}{7}$ der Spannweite, und

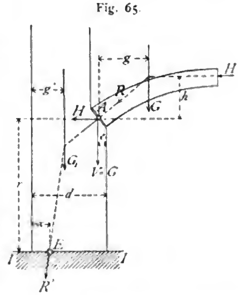
bei überhöhten Bogenlinien zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{7}$ der Spannweite.

Ift dabei aber die Höhe der Widerlager von ihrer Aufftandfläche bis zu der erwähnten Ebene gröfser als $2{,}5$ m, fo werden die angegebenen Abmeffungen etwa $1\frac{1}{6}$- bis $1\frac{1}{8}$-mal fo ftark genommen.

Die gegebenen Werte follen aber nur als Näherungswerte angefehen werden; fie fchliefsen alfo die bezeichnete Stabilitätsunterfuchung des Widerlagskörpers nicht aus.

Bei der Prüfung der Stabilität des Widerlagers durch Rechnung ift im oben gedachten Halbbande (2. Aufl.: Art. 277, S. 261; 3. Aufl.: Art. 283, S. 296) diefes »Handbuches« das Erforderliche gegeben, und es ift mit Bezug auf die in Fig. 65 eingeführten Bezeichnungen der Abftand x des Angriffspunktes E der Mittelkraft aus dem Gewölbfchube H, dem Gewichte G des Gewölbes nebft feiner Belaftung und dem Gewichte G_1 des Widerlagskörpers von der äufseren Kante am Fufse der Widerlagsmauer berechnet zu

Fig. 65.



$$x = \frac{G_1 g' + G(d - e) - Hr}{G + G_1}.$$

Ift demnach zuvor die Stärke d gewählt, fo läfst fich G_1 als abhängig von d ermitteln, und da dann auch bei berechnetem g_1, H und G, fowie bei den gegebenen Werten von e und r die Gröfse x zu finden ift, fo kann man prüfen, ob die gewählte Stärke d einen Wert für $x = \frac{1}{3} d$ liefert, oder ob ein neuer Wert von d, welcher nach der erften Rechnung fich jedoch unfchwer angeben läfst, eingeführt werden mufs oder nicht.

27. Einhüftige Gewölbe.

Eine befondere Betrachtung erfordern noch die fog. einhüftigen Gewölbe. Ein einhüftiges Gewölbe ift, in feinem Stirnfchnitte genommen, ein fog. unfymmetrifches Gewölbe, da dasfelbe in Bezug auf fein Scheitelpunktslot zwei voneinander verfchiedene, nicht kongruente Stücke der ganzen Stirnfläche befitzt. Diefe beiden

Stücke erhalten auch meiſtens voneinander verſchieden groſse Belaſtungen, ſo daſs neben den unſymmetriſchen Gewölbebogen noch unſymmetriſche Belaſtung vorhanden iſt. Da vielfach auſser den eigentlichen einhüftigen Gewölben, welche z. B. zur Unterſtützung von Treppenläufen dienen, derartige Gewölbe von geringer Achſenlänge als ſog. Strebebogen zur Sicherung des Widerlagers anderer Gewölbe, namentlich der gotiſchen Kreuzgewölbe, benutzt werden, ſo iſt die Stabilitätsunterſuchung der einhüftigen Gewölbe, bezw. der Strebebogen von Bedeutung. In einigen Punkten weicht, wie aus dem in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 476, S. 446[10]) Geſagten zu entnehmen iſt, dieſe Unterſuchung von derjenigen des geraden Tonnengewölbes ab, und es ſoll deshalb eine graphoſtatiſche Stabilitätsunterſuchung eines einhüftigen Gewölbes gegeben werden.

Als Beiſpiel iſt ein einhüftiges, aus Backſteinmaterial herzuſtellendes Gewölbe gewählt, welches zum Tragen eines Treppenarmes dient. Dasſelbe iſt in Fig. 66 dargeſtellt. Die Wölblinie iſt ein um *m* beſchriebener Kreisbogen *ab*; die Gewölbſtärke iſt gleichmäſsig zu $0{,}38$ m angenommen. Der Treppenlauf iſt eingetragen, und gleichzeitig iſt unter Berückſichtigung der zufälligen Belaſtung und unter Zurückführen des Stufenmaterials und der erwähnten Belaſtung auf die Dichtigkeit des Wölbmaterials die Belaſtungslinie *CD* eingezeichnet.

Streng genommen würde dieſe Linie ſtaffelförmig auftreten, wenn für jede Stufe eine gleichförmig verteilte Ueberlaſt für die Flächeneinheit gelten ſoll. In Rückſicht auf Stöſse, welche bei der Benutzung der Treppe eintreten können, iſt hier jedoch dieſe Ueberlaſt parallel mit der Steigungslinie der Treppe angenommen und hierdurch noch als etwas ungünſtiger für das Gewölbe in Betracht gezogen.

Die Belaſtungsfläche *abCD* iſt in ſieben Teilſtreifen zerlegt, wovon der Streifen *I* der ſchmalere iſt, während die Streifen *II* bis *VII* eine gleich groſse Breite aufweiſen.

Die Tiefe des Gewölbes iſt gleich der Längeneinheit angenommen. Den Teillinien entſprechend ſind die Fugenlinien *x*, *z*, *y* u. ſ. f. in der eigentlichen Gewölbfläche gezogen.

In bekannter Weiſe (vergl. Art. 24, S. 61) iſt zur Ermittelung der Flächen, bezw. der Gewichte der Teile eine Reduktion der Flächen derſelben auf eine Baſis gleich 2 m ausgeführt, ſo daſs im Gewichtsplane die Strecken *o 1*, *1 2* u. ſ. f. die Gröſsen der zugehörigen Flächen ergeben, ſobald die ihnen zukommende Maſszahl mit der Maſszahl 2 der Baſis multipliziert wird. Die Strecke *o 7* miſst $2{,}8$ m; folglich beſitzt die Belaſtungsfläche $2{,}8 \cdot 2 = 5{,}6$ qm, und das in Frage kommende Geſamtgewicht des Gewölbekörpers, einſchl. der Belaſtung beträgt, bei der Gewölbetiefe von 1 m und dem Gewicht von 1600 kg für 1 cbm Backſteinmaterial, $5{,}6 \cdot 1 \cdot 1600 = 8960$ kg. Dieſer Wert entſpricht der Mittelkraft *R*.

Die Einzelgewichte wirken, wie früher ſchon erörtert, in den Mittellinien ihrer Teilſtreifen, welche durch kleine Sterne in der Zeichnung angedeutet ſind.

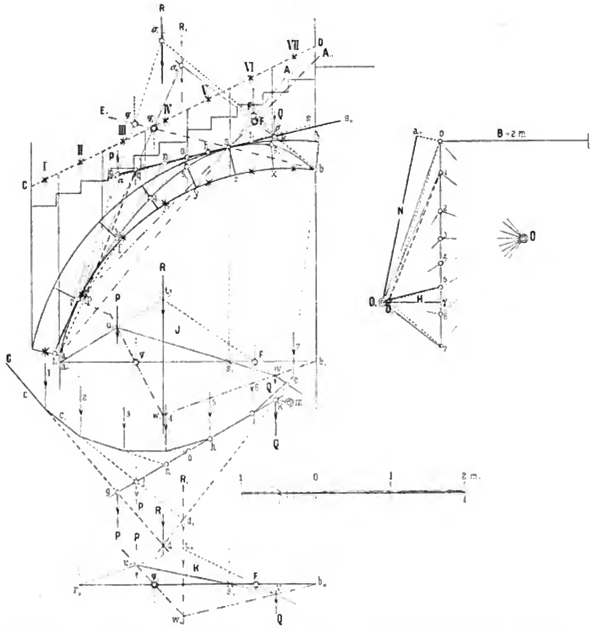
Für die Gewichte iſt unter Benutzung des Poles *O* das Seilpolygon *G* gezeichnet. Die lotrecht gerichtete Mittelkraft *R* geht durch den Schnittpunkt *d* der äuſserſten Seilſtrahlen *cd* und *ed*.

Bei einem unſymmetriſch geformten, bezw. unſymmetriſch belaſteten Gewölbe kann bei der Beſtimmung der Mittellinie des Druckes von vornherein eine Fuge, in welcher ein wagrechter Gewölbſchub wirkſam wird, nicht ohne weitere Rechnung, wie ſolches bei ſymmetriſchen Gewölben mit ſymmetriſcher Belaſtung möglich iſt, angenommen werden; vielmehr muſs für die hier auftretende Gewölbform, einer allgemeinen Eigenſchaft der Mittellinien des Druckes gemäſs, welche einem möglich kleinſten wagrechten Gewölbſchube angehört, eine Mittellinie des Druckes aufgeſucht werden, welche bei einem ſtabilen Gewölbe innerhalb der Gewölbfläche verbleibt und zwei Punkte mit der inneren Wölblinie und einen Punkt mit der Rückenlinie gemeinſchaftlich hat. Dieſe drei Punkte ſind vorweg noch unbekannt. Wählt man jedoch einſtweilen beliebig, z. B. die Punkte *a* und *b* auf der inneren Wölblinie, den dazwiſchen liegenden Punkt *s* auf der Rückenlinie, ſo läſſt ſich eine Mittellinie des Druckes als Probelinie ermitteln, welche dieſe drei Punkte enthält, im allgemeinen aber noch nicht innerhalb der Gewölbfläche verbleibt. Aus ihrem Verlaufe erkennt man aber dort, wo dieſelbe ſich am weiteſten von den Gewölblinien entfernt, diejenigen Punkte, durch welche eine neu gezeichnete Mittellinie des Druckes gehen müſste, wenn dieſelbe in der Gewölbfläche liegen ſoll. In den meiſten Fällen ſind nur wenige derartige Unterſuchungen erforderlich, die auſserdem unter Anwendung der Verfahren der graphiſchen Statik ziemlich einfach ſind.

[10]) 2. Aufl.: Art. 267, S. 253; 3. Aufl.: Art. 273, S. 283.

Um eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, welche durch die gewählten 3 Punkte *a*, *s*, *b* geht, die zugleich den im Gewölbeſchnitte für die Teillinien eingezeichneten Fugenlinien angehören, hat man zu beachten, daſs von der Fuge *s z*, bezw. von der ihr zukommenden Teillinie aus für den Gewölbkörper von *s* bis *a* die Gewichtsſumme gleich der Strecke *o 5*, von *s* bis *b* die Gewichtsſumme gleich der Strecke *5 7* des Gewichtsplanes in Frage kommt. Die Lage dieſer reſultierenden Gewichte iſt im

Fig. 66.



Seilpolygon *G* zu ermitteln, indem für die durch die Fuge *s z* voneinander geſchiedenen Gewichte durch Erweitern des gemeinſchaftlichen Seilſtrahles *h i* die Schnittpunkte *g* und *k* mit den äuſserſten Seilſtrahlen *c* und *e* beſtimmt werden. Durch *g* zieht die lotrechte Reſultierende $P = o\,5$, während durch *k* die Lotrechte $Q = 5\,7$ geht.

Da auſserdem die Lage der Mittelkraft *R* von *P* und *Q* bekannt iſt, ſo läſst ſich für die Gewichte *P* und *Q* ein Seilpolygon *b*, β, *s*, α, *a* mit den äuſserſten Strahlen $b\sigma_1$ und $a\sigma_1$ im Gewölbeplane feſtlegen, welches durch die 3 Punkte *a*, *s*, *b* geht, und worin die in β α, bezw. α β wirkenden Seilſpannungen als in *s* thätige Gewölbſchübe auftreten. Zur Ermittelung dieſes Seilpolygons iſt ein bekannter Satz der graphiſchen Statik benutzt, welcher ſagt:

Wenn ſich die drei Ecken α, σ_1, β, welche einem Seilpolygon *a* α β *b* mit den fortgeführten beiden äuſserſten Strahlen $\alpha\,\sigma_1$ und $\beta\,\sigma_1$ angehören, auf drei gegebenen Strahlen *P*, *R*, *Q* bewegen, wenn ferner

zwei Seiten des Seilpolygons, z. B. $a\sigma_1$ und $\alpha\beta$, fich um zwei fefte Punkte a, bezw. s drehen, fo dreht fich auch die dritte Seite $\beta\sigma_1$ ftets um einen und denfelben feften Punkt F, den fog. Fixpunkt, welcher immer auf der durch die beiden feften Punkte a und s geführten geraden Linie, der fog. Polarachfe liegt. Zur Beftimmung jenes Fixpunktes F und auch des zur weiteren genauen Durchführung der Zeichnung zu benutzenden zweiten Fixpunktes φ einer zweiten Polarachse E_1, braucht man nur, um die zeichnerifchen Darftellungen dafür im Gewölbeplane ganz zu vermeiden, bei der lotrechten Richtung von P, R und Q aus leicht erfichtlichen Gründen die Projektionen der Fixpunkte F und φ zu ermitteln und diefe auf die Polarachfe A_1 (Gerade durch a und s) für F, bezw. auf die Polarachfe E_1 (Gerade durch b und s) für φ unmittelbar zu übertragen. Solches ift im Hilfsplane J gefchehen. Auf der beliebig, hier wagrecht gezogenen Geraden $a_1 b_1$ find gemäfs der lotrechten Richtung von P, R und Q durch lotrechtes Projizieren die den Punkten a, s, b entfprechenden Punkte a_1, s_1, b_1 feftgelegt. Die Gerade $a_1 b_1$ ift die Projektion der Polarachfe A_1, und ebenfo ift $b_1 a_1$ die Projektion der Polarachfe E_1.

Zieht man durch a_1 einen fonft beliebigen, die Geraden P und R in u_1, bezw. t_1 fchneidenden Strahl, legt hierauf, durch u_1 und s_1 beftimmt, eine Gerade feft, welche die Linie Q in v_1 fchneidet, und fügt man zuletzt den Strahl $v_1 t_1$ ein, fo ift der Schnittpunkt F derfelben mit $a_1 b_1$ die Projektion von dem auf der Polarachfe A_1 liegenden Fixpunkte. Um den Fixpunkt φ zu erhalten, ift von b_1 ausgehend dasfelbe Verfahren zu beobachten; man kann aber unter Benutzung der fchon im Plane J vorhandenen Strahlen die Gerade $b_1 v_1$ bis w_1 auf R ziehen, die Gerade $v_1 u_1$ unberührt laffen und w_1 mit u_1 verbinden, um im Schnittpunkte φ diefes Strahles mit der Geraden $b_1 a_1$ die Projektion des Fixpunktes der Polarachfe E zu ermitteln.

Ueberträgt man im Gewölbeplane den Punkt F nach F auf A_1 und den Punkt φ nach φ auf E_1, fo find $a\varphi$ und bF die Richtungen der äufserften Strahlen des durch $a\,s$ und b gehenden Seilpolygons. Sie treffen die Richtungen von P und Q in den Punkten α, bezw. β, und die durch die Punkte α und β ziehende Gerade s_1, welche notwendig auch durch s gehen mufs, ift die dritte Seilfeite des nunmehr beftimmten Seilpolygons für die Punkte a, s, b. Als Probe für die Richtigkeit dient noch der Umftand, dafs die Strahlen $a\alpha$, bezw. $b\beta$, gehörig erweitert, fich in einem gemeinfchaftlichen Punkte σ_1 auf der Linie der Mittelkraft R fchneiden müffen.

In der Linie s_1 wirkt der Gewölbfchub für den Gewölbeteil $s\,a$ in der Richtung $s\,\alpha$, für den Gewölbeteil $s\,b$ in der Richtung $s\,\beta$. Die Gröfse desfelben erhält man im Gewichtsplane fofort, wenn man durch den Punkt o eine Parallele $o\,O_1$ zu $a\,\varphi$ und durch den Punkt 7 eine Parallele $7\,O_1$ zu $b\,F$ zieht; beide treffen fich im Punkte O_1, und die Länge des Strahles $O_1\,5$ liefert, da 5 der Endpunkt der Gewichtsftrecke P und der Anfangspunkt der Gewichtsftrecke Q ift, die gefuchte Gröfse des Gewölbfchubes. Zur Prüfung der Zeichnung dient, dafs $O_1\,5$ parallel mit der Geraden $\alpha\beta$ fein mufs.

Um nun für diefen Gewölbefchub eine vorläufige Mittellinie des Druckes zu zeichnen, verfährt man in folgender Weife. Das Gewicht 5, welches von s aus bis zur Fuge y in Frage kommt, greift auf der Linie s_1 in h_1 an; zieht man im Gewichtsplane die Linie $O_1\,4$ und hierzu eine Parallele durch h_1, bis die Fuge y getroffen wird, fo ergiebt fich hier ein Punkt jener Drucklinie. So wirken bis zur Fuge r die Gewichte 2, 3, 4 und 5. Die Lage des refultierenden Gewichtes P_1 gleich der Strecke $1\,5$ ergiebt fich durch den Schnittpunkt l der Seilftrahlen c_1 und $h\,i$ des Seilpolygones G; bringt man den Angriffspunkt von P_1 entfprechend l nach q auf s_1, zieht man $O_1\,1$ und hierzu eine Parallele $q\,p$, fo ift p ein Punkt der gefuchten Probelinie. Führt man die Zeichnung derfelben nach diefen Angaben für das ganze Gewölbe durch, was in Fig. 66 nicht weiter kenntlich gemacht ift, fo findet man, dafs diefe Probelinie in der Gewölbfläche $s\,z\,b$ verbleibt, die Gewölbfläche $s\,z\,a$ jedoch in dem Stücke $f\,p\,a$ verläfst, dafs mithin diefe Drucklinie noch nicht für die Stabilitätsunterfuchung des Gewölbes mafsgebend wird. Der am weiteften von der Wölblinie entfernte Punkt p diefer Probelinie giebt ein Erkennungszeichen für die Lage einer gefährlichen Stelle (Bruchfuge) im Gewölbe an. Der dem Punkte p zugehörige Punkt diefer Bruchfuge ift in r bekannt geworden. Die Punkte s und b bleiben unverändert, weil von s bis b die Probelinie in der Fläche bleibt.

Ermittelt man nunmehr ein Seilpolygon, welches durch die Punkte r, s und b für die Gewichte von s bis r und von s bis b geht, fo weifs man zunächft, dafs das refultierende Gewicht P_1 des Stückes von s bis zur Fuge r gleich $1\,5$ ift und fenkrecht durch l zieht, dafs ferner das refultierende Gewicht des Stückes von s bis zur Fuge b wiederum gleich $Q = 5\,7$ ift und fenkrecht durch k zieht und dafs endlich für das bezeichnete Seilpolygon die durch r und s geführte Gerade $A_{,,}$ eine Polarachfe wird, während die zweite Polarachfe im vorliegenden Falle als der durch b und s gelegte Strahl E_1 verbleibt.

Ermittelt man im Hilfsplane K in der früher angegebenen und aus der Zeichnung näher erfichtlichen Weife die Projektionen der Fixpunkte F_1 und φ_1 und überträgt man diefelben nach F_1 auf die

Polarachfe $A_{,,}$ bezw. nach φ_1 für die Polarachfe E_1, fo find $r\varphi_1$ und bF_1 die äufserften Strahlen des zu berückfichtigenden Seilpolygons. Man kann fchon hiernach bei genauer Zeichnung, unbekümmert um näheres Feftlegen des Seilpolygons, ohne weiteres die eindeutige Beftimmung des jetzt fich geltend machenden Gewölbfchubes vornehmen.

Zieht man, da $P_1 = 15$ und $Q = 57$ ift, durch 1 im Gewichtsplane eine Linie $1\,O_{,,}$ parallel zu $r\varphi_1$ und ferner hier durch 7 einen Strahl $7\,O_{,,}$ parallel zu bF_1, fo ergiebt fich der gemeinfchaftliche Schnittpunkt $O_{,,}$ diefer Linien. Zieht man $O_{,,}5$, fo ergiebt diefer Strahl die Gröfse des neuen Gewölbfchubes und zugleich die Neigung desfelben zur Lotrechten an. Führt man durch s im Gewölbeplane eine Gerade $s_{,,}$ parallel zu $O_{,,}5$, fo ift hiermit die Lage des Gewölbfchubes gegeben. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung dient, dafs der Punkt l_1, als Schnittpunkt der Lotrechten P_1 mit dem Strahle $r\varphi_1$, der Punkt k_1, als Schnittpunkt der Richtung Q mit der Linie bF_1, und der Punkt s Elemente von einer und derfelben Geraden $s_{,,}$ fein müffen; dafs ferner auch die Strahlen $r\varphi_1$ und bF_1, gehörig erweitert, fich auf der Richtungslinie der durch d_1 des Seilpolygons G gehenden Refultierenden R_1 von P_1 und Q in einem gemeinfchaftlichen Punkte $z_{,,}$ fchneiden.

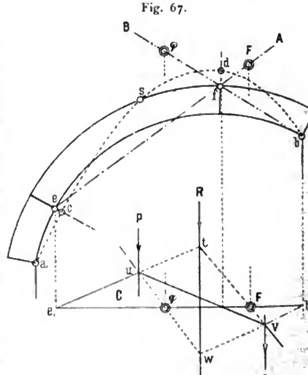
In der Geraden $s_{,,}$ wirkt in der Richtung sg_1 der Gewölbfchub $5\,O_{,,}$, in der Richtung sk_1 der Gewölbfchub $O_{,,}5$. Setzt man den Gewölbfchub für die beiden Teile links und rechts von der Fuge sz unter Benutzung der aus dem Seilpolygon auf $s_{,,}$ übertragenen Angriffspunkte h entfprechend h_1, o für o_1 u. f. f. mit den bis auf die einzelnen Fugen kommenden refultierenden Gewichten zufammen, fo erhält man, wenn z. B. $h_1 5_1$ parallel $O_{,,}4$, $o_1 4_1$ parallel $O_{,,}3$ u. f. f. des Gewichtsplanes gezogen wird, in 5_1, 4_1 u. f. f. Punkte der Mittellinie des Druckes in der Fläche sza und ebenfo, wenn i_1 durch i, k_1 durch k auf $s_{,,}$ übertragen ift, durch Ziehen der Strahlen $i_1 6_1$ parallel $O_{,,}6$, $k_1 b$ parallel $O_{,,}7$ in 6_1, b Punkte der Drucklinie in der Fläche szb.

Die gezeichnete Mittellinie des Druckes $1_1\,r\,3_1\,4_1\,5_1\,s\,6_1\,b$ bleibt vollständig in der Gewölbfläche, hat mit der inneren Wölblinie nur die beiden Punkte r und b und mit der Rückenlinie nur den einen Punkt s gemein, ift alfo eine Drucklinie mit dem möglich kleinften Horizontalfchube. Derfelbe ift gleich der wagrechten Seitenkraft von $o_{,,}5$, d. h. gleich $H = O_{,,}\gamma$ im Gewichtsplane.

Der Wert von $H\gamma$ beftimmt fich durch Meffung zu $0{,}8$ m. Da die Bafiszahl $B = 2$ m ift, fo wird $H = 0{,}8 \cdot 2 = 1{,}6$ qm, bezw. auch $= 1{,}6$ cbm. Diefer Wert liegt nach der Tabelle auf S. 62 zwifchen der Gewölbftärke $d = 1$ Stein und $d = 1^1/_2$ Stein, fo dafs für die Ausführung des unterfuchten Gewölbes die Stärke von $1^1/_2$ Stein zu nehmen ift. Der gröfste Fugendruck entfteht für die Kämpferfuge a als Strecke $o\,O_{,,}$. Zieht man $o\,a_{,,}$ parallel der Fuge a und beftimmt man in N die normale Seitenkraft des Fugendruckes, fo mifst $O_{,,}a_{,,}$ nach dem Zeichenmafsftabe $2{,}28$ m; mithin ift der gröfste Normaldruck durch die Zahl $2{,}28 \cdot 2 = 4{,}56$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. beftimmt. Nach derfelben Tabelle würde d auch hierfür die Stärke von $1^1/_2$ Stein zuzuweifen fein, fo dafs die Gewölbftärke überall gleich ftark bleiben kann.

In vielen Fällen zeigt fich bei der Stabilitätsunterfuchung einhüftiger Gewölbe, dafs fich für die drei zuerft gewählten Punkte a, s, b eine Probelinie herausftellt, welche, wie in Fig. 67 angegeben, die Gewölbfläche mehrfach, häufig einmal unterhalb, ein zweites Mal oberhalb diefer Fläche verläfst. Dann werden durch die am weiteften abftehenden Punkte e und d diefer Linie von der inneren, bezw. äufseren Wölblinie Bruchfugen gekennzeichnet, deren Grenzpunkte e, bezw. f in Gemeinfchaft mit einem unveränderten Punkte b nunmehr an die Stelle der zuerft angenommenen drei Punkte zu treten haben. Die Polarachfen werden die durch e und f, fowie durch b und f geführten Strahlen A, bezw. B.

Fig. 67.



Die diefen Polarachfen angehörigen Fixpunkte F und φ werden in der Hilfsfigur C nach dem mitgeteilten Verfahren unter Anwendung der Gewichte P für den Teil fe, und Q für den

Teil fb nebst ihrer Mittelkraft R' aufgesucht, und dann wird die neue, durch b, f und e gehende Drucklinie in der vorhin beschriebenen Weise gezeichnet. Bei einem überhaupt stabilen Gewölbe wird man bald zum Abschluss derartiger Untersuchungen gelangen.

Ist die Wölblinie eines einhüftigen Gewölbes kein Kreisbogen, sondern irgend eine der in Art. 16 (S. 35) angegebenen Kurven, so erfährt die Stabilitätsuntersuchung in ihren Grundlagen keine Aenderung.

Noch möge bemerkt werden, dass auch bei geraden Tonnengewölben mit unsymmetrischer Belastung das Verfahren der Ermittelung der Mittellinie des Druckes genau der eben behandelten Untersuchungsart eines einhüftigen Gewölbes entspricht. Selbst wenn einhüftige Gewölbe ausser Gewichten noch durch zur Wagrechten geneigt gerichtete Kräfte, z. B. durch Winddruck, beansprucht werden, wie bei Strebebogen der Kreuzgewölbe der Fall ist und wovon später noch das Nötige gesagt werden wird, bleibt das Wesen des Verfahrens dasselbe.

Schliesslich ist noch eines für die Praxis wichtigen Falles zu gedenken, bei welchem Tonnengewölbe von verschiedener Spannweite und von verschiedener Belastung sich gegen ein gemeinschaftliches Widerlager setzen und dieses durch ihre resultierenden Kämpferdrücke beanspruchen, welche nach Lage, Grösse und Richtung voneinander verschieden sind. Es handelt sich deshalb hier noch um die statische Untersuchung derartiger Gewölbanlagen, besonders des Widerlagers, wofür Fig. 68 in Benutzung genommen werden soll.

28. Tonnengewölbe von verschiedenen Spannweiten.

Die beiden ungleich weiten, auch ungleich belasteten geraden Tonnengewölbe G und G_1, deren Belastung, bei jedem Gewölbe für sich betrachtet, eine zu ihrem Scheitellote L, bezw. L_1 gleichmässig auftreten möge, stützen sich gegen ein und dasselbe Widerlager VI.

Da jedes Gewölbe für sich ein symmetrisches Gewölbe mit symmetrischer Belastung in Bezug auf das Scheitellot bildet, so wirkt in einer gedachten Scheitelfuge jedes Gewölbkörpers G, bezw. G_1 ein wagrecht gerichteter Gewölbschub. Aus diesem Grunde wurde nur je eine Hälfte der Gewölbe, wofür die Tiefe gleich der Längeneinheit ist, dargestellt.

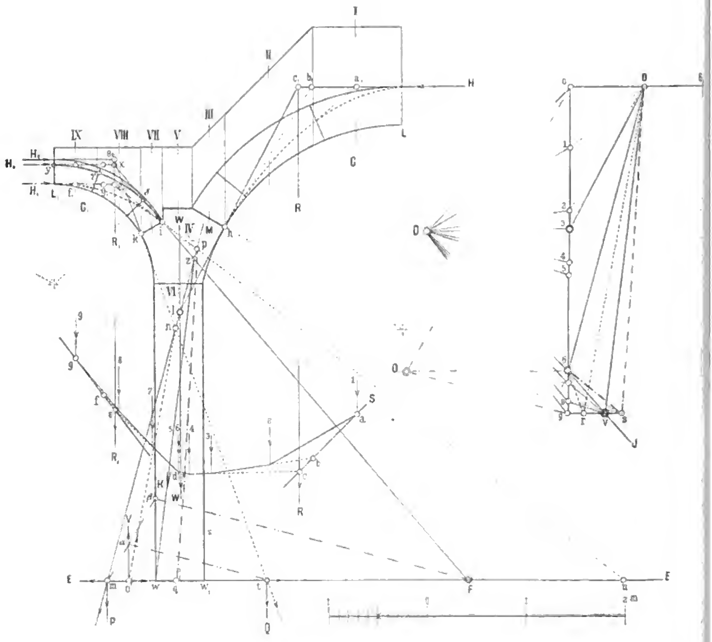
In bekannter Weise ist, nachdem die Flächen der sämtlichen Teilstreifen auf eine Basis $oB = 1{,}5$ m reduziert wurden, für das grössere und stärker belastete Gewölbe G eine Mittellinie des Druckes für den möglich kleinsten Gewölbschub H ermittelt, welche demgemäss durch den höchsten Punkt der Scheitelfuge und den tiefsten Punkt h einer unter 60 Grad geneigten Bruchfuge geht. Diese Bruchfuge ist hier zugleich Kämpferfuge. Wäre dies nicht der Fall, so müsste die Bruchfuge zuvor, wie bei Fig. 67 angegeben ist, bestimmt werden. Dasselbe gilt auch für das kleine Gewölbe G_1.

Die für G gezeichnete Mittellinie des Druckes verbleibt ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der zugehörige Gewölbschub H ist im Gewichtsplane als Do dargestellt. Aus diesem Gewölbschube und dem Gewölbe $o3$ entspringt der durch $c_1 h$ der Lage nach bestimmte Kämpferdruck von der Grösse $D3$. Der Widerlagskörper VI nebst dem darauf ruhenden Gewölbanfänger IV und seiner Uebermauerung V besitzt ein Gewicht gleich der Strecke 36 im Gewichtsplane. Dieses resultierende Gewicht wirkt in der Lotrechten W, welche mit Hilfe des Seilpolygons S ihrer Lage nach, als durch d gehend, gefunden wird. Mit dem Gewichte 36 lässt sich der Kämpferdruck $D3$ sofort zu einer Hauptmittelkraft $D6$ zusammensetzen. Ihre Lage im Gewölbplane erhält man, indem die Parallele M zu $D6$ durch den Schnittpunkt l der gehörig erweiterten Linie $c_1 h$ mit der Linie W gezogen wird. Die Mittelkraft $D6$, welche in dieser Hauptlinie M wirkt, trifft die Ebene EE, worin die als fest angenommene Fussfläche des Widerlagskörpers enthalten ist, in einem Punkte m ausserhalb der durch w gehenden Seitenkante der rechteckigen Grundfläche des Stützkörpers VI. Hierdurch zeigt sich, dass der Gewölbschub H des grossen Gewölbes, wenn dasselbe allein ausgeführt werden sollte, den Stützkörper um die durch w gehende Kante drehen würde und dass kein Gleichgewicht gegen Drehung stattfände. Um zunächst ein solches Gleichgewicht herbeizuführen, muss das kleine Gewölbe einen Gegendruck liefern, welcher mindestens die Grösse und Lage annehmen muss, dass die Mittelkraft $D6$, im Strahle M angreifend, mit diesem noch völlig unbekannten Gegendruck des Gewölbes G_1 zusammengesetzt, eine neue Mittelkraft giebt, welche so weit zurückgedrängt wird, dass dieselbe wenigstens durch den Punkt w der Drehkante des Widerlagers geht, um damit einen Grenzzustand des Gleichgewichtes gegen Drehen in der Voraussetzung herbeizuführen, dass die von $D6$ und jenem unbekannten Gegendrucke im Widerlagskörper abhängige Mittellinie des Druckes ganz in der lotrechten Schnittfläche dieses Körpers bleibt. Von einer Gefahr hinsichtlich des Gleitens in den wagrechten Lagerfugenflächen dieses Körpers möge keine Rede sein.

Um für den erwähnten Gegendruck des kleinen Gewölbes zunächst Grenzwerte zu ermitteln, ist zu beachten, dass, wenn dieses Gewölbe für sich allein bestände, der Kämpferdruck desselben einem mög-

lich kleinen Gewölbschube H_0 angehört. Derselbe Schub H_0 erzeugt alsdann eine sog. Minimaldrucklinie, welche durch den höchsten Punkt der Rückenlinie im Scheitellote L_1 und den tiefsten Punkt k der Kämpfer-, hier zugleich Bruchfuge zu führen ist. Dieser hier auch wagrechte Gewölbschub ist nach bekannter Methode als $H_0 = g\,r$ im Gewichtsplane gefunden. Die Gröfse des Kämpferdruckes ergiebt sich als $6\,r$. Derselbe wirkt in der durch $e_0\,k$ gezogenen Geraden. Setzt man diesen Kämpferdruck mit der bekannten, in der Hauptlinie M wirkenden Mittelkraft $D\,6$ zusammen, so entsteht die Mittelkraft $D\,r$. Sie geht im Gewölbplane durch den in M enthaltenen Schnittpunkt n mit dem fortgeführten Strahle $e_0\,k$

Fig. 68.



des Kämpferdruckes $6\,r$. Zieht man $n\,o$ parallel $D\,r$, so ist die Lage dieser Schlufsmittelkraft gefunden. Auch diese trifft die Ebene $E\,E$ der Fufsfläche des Widerlagers in einem Punkte o, welcher noch aufserhalb der Drehkante w derselben liegt.

Hieraus folgt, dafs der Widerlagskörper unter dem hier eingeführten möglich kleinsten Gegendrucke des Gewölbes G_1 nicht fähig ist, dem Schube des gröfseren Gewölbes G genügenden Widerstand zu leisten und dafs der Schub des gröfseren Gewölbes zur Herstellung des Gleichgewichtes des ganzen Systems gegen Drehung einen gröfseren Gegendruck des kleineren Gewölbes, als solcher infolge des mög-

lich kleinften Gewölbfchubes H_0 fich darbot, wachrufen wird, dafs alfo ftatt $H_0 = 6r$ ein gröfserer Gewölbfchub für G_1 eintreten mufs. Da für diefen neuen Gewölbfchub nur die allgemeine wagrechte Richtung bekannt ift, während fein Angriffspunkt und feine Gröfse noch vollftändig unbekannt find, fo kann man, da ein Wachfen diefes Schubes fich unbedingt als erforderlich herausgeftellt hat, da ferner der wagrechte Gewölbfchub für G_1 aber überhaupt vermöge der fymmetrifchen Form und Belaftung des Gewölbes notwendig feinen Angriffspunkt innerhalb der Scheitelfuge desfelben haben mufs, fofort zu einer weiteren Grenzbeftimmung für denfelben übergehen.

Nimmt man zu diefem Zwecke eine Mittellinie des Druckes an, welche einem möglich gröfsten Gewölbfchube angehört und welche man mit dem Namen Maximaldrucklinie bezeichnet, fo geht diefelbe bei dem vorliegenden Gewölbe G_1 durch den tiefften Punkt der Scheitelfuge und den höchften Punkt i der Bruchfuge. Die wagrechte Richtung des Gewölbfchubes H_1 fchneidet die refultierende Gewichtslinie R_1 des Gewölbftückes G_1 im Punkte e_1. Die Richtung $e_1 i$ giebt die Lage des nun entftehenden Kämpferdruckes an. Zieht man im Gewichtsplane $6s$ parallel zu $e_1 i$, fo erhält man $9s$ als Horizontalfchub H_1 und $6s$ als Kämpferdruck. Die Maximaldrucklinie für H_1 ift in bekannter Weife im Gewölbplane eingezeichnet; diefelbe verbleibt innerhalb der Gewölbfläche, fo dafs hiernach für H_1 keine weitere Unterfuchung nötig wird. Vereinigt man nun wiederum den Druck $D6$ mit dem Kämpferdruck $6s$ zu der Mittelkraft Ds, zieht man $e_1 i$ im Gewölbplane bis zum Schnitte p mit der Hauptlinie M, führt man ferner durch p einen Strahl pq parallel zu Ds, fo zeigt fich, dafs diefer Strahl, welcher nunmehr die Mittelkraft aus dem Drucke $D6$ und dem neuen gröfseren Kämpferdrucke $6s$ des Gewölbes G_1 enthält, durch den Punkt q innerhalb der Fufsfläche des Widerlagskörpers geht und dafs fomit kein Drehen um die Seitenkanten diefer Fufsfläche eintreten kann, oder dafs bei der früher hinfichtlich der Lage einer Mittellinie des Druckes im Widerlager gemachten Vorausfetzung das Syftem ftabil ift.

Hiernach ift alfo gefunden, dafs der durch die Maximaldrucklinie bedingte Gegendruck, fobald folcher in diefem Mafse im kleinen Gewölbe durch das grofse Gewölbe wachgerufen würde, im ftande ift, die Standfähigkeit des ganzen Syftems herbeizuführen. Diefer hier eingetretene, der Maximaldrucklinie entfprechende Gegendruck kann aber füglich bei einer anderen Form der Gewölblinien oder einer anderen Art der fonft fymmetrifchen Belaftung der verfchiedenen Gewölbe oder einer anderen Gewölbftärke ebenfo gut auch über die andere Drehkante w_1 der Fufsfläche des Widerlagers hinausfallen, und damit wäre dann offenbar ein Zeichen dafür gegeben, dafs der Schub des grofsen Gewölbes G eines derart grofsen Gegendruckes nicht bedurfte, um die Standfähigkeit des Syftems herzuftellen.

Würde in einem anderen Falle aber der Punkt q noch innerhalb der Strecke mw vor der Drehkante w gefunden, fo ift auch der Gegendruck, welcher der Maximaldrucklinie des Gewölbes G_1 zukommt, nicht fähig, dem Schube des grofsen Gewölbes G den nötigen Widerftand zu leiften, und ein folcher Fall würde dann bekunden, dafs das gegebene Syftem nicht ftandfähig wäre.

Aus der hier mitgeteilten Unterfuchung ergiebt fich, entfprechend den Grenzwerten von H_0 und H_1, auch eine Grenzlage für die Punkte o und q in der Ebene EE. So gut nun zwifchen den Grenzen H_0 und H_1 noch zahllofe Werte des Horizontalfchubes für das Gewölbe G_1, nur gröfser als H_0 und kleiner als H_1, fich einführen liefsen, ebenfo gut würden noch zahllofe Kämpferdrücke und zahllofe, zwifchen o und q liegende Schnittpunkte der aus diefen Drücken und des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ mit der Ebene EE zu finden fein.

Um nun den Gewölbfchub $H_{,,}$ des kleinen Gewölbes zu finden, welcher eine jedoch in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes liefert, die einem folchen Kämpferdrucke zukommt, der im ftande ift, mit dem Schube $D6$ eine Mittelkraft zu erzeugen, welche die Ebene EE genau im Grenzpunkte w der Drehkante zwifchen o und q trifft, kann man in folgender Weife vorgehen. Denkt man fich den Angriffspunkt des in der Hauptlinie M wirkenden Schubes $D6$ nach m in EE verlegt, ebenfo z. B. den Angriffspunkt des Kämpferdruckes $6r$ der Minimaldrucklinie durch Fortführen der Geraden $e_0 k$ nach t in EE gebracht, fo kann man den Schub $D6$ hier zerlegen in eine lotrechte Seitenkraft P, deren Gröfse offenbar gleich der Strecke $o6$ im Gewichtsplane ift, und in eine wagrechte Seitenkraft, deren Gröfse gleich Do ebendafelbft erhalten war; gleichfalls kann man in t den Kämpferdruck $6r$ in feine lotrechte Seitenkraft Q gleich der Strecke 69 und in feine wagrechte Seitenkraft von der Gröfse $H_0 = 9r$ zerlegen. Die Mittelkraft Dr aus $D6$ und $6r$ hat in o ihren Angriffspunkt auf EE; diefe kann in eine lotrechte Seitenkraft V und in eine wagrechte Seitenkraft zerlegt werden. Da nun für den Gleichgewichtszuftand das Kräftepolygon $o6rD$ gefchloffen und mit ununterbrochenem Richtungsfinn verfehen fein foll, fo tritt die Strecke Dr in o im Sinne rD, aber in gleicher Gröfse von Dr auf. Ihre lotrechte Seitenkraft ift alfo $V = 9o$.

Die algebraifche Summe aller in E liegenden wagrechten Seitenkräfte mufs gleich Null fein, wie

auch die algebraifche Summe der lotrechten Seitenkräfte gleich Null ift. Das für die drei lotrechten Seitenkräfte P, Q und die diefe beiden verzehrende Kraft V mit einer wagrechten Schlufsfeite $m\,t$ verfehene Seilpolygon mufs äufserfte Strahlen $\alpha\,m$ und $\alpha\,t$ befitzen, welche fich auf V in einem beliebigen Punkte α fchneiden, und aufserdem für den Gleichgewichtszuftand gefchloffen fein.

Da die Gröfsen $P = o\,6$, $Q = 6\,q$ und $V = q\,o$ bekannt find, fo wird, wenn man im Gewichtsplane $o\,O_1$ parallel zur Seilfeite $m\,\alpha$ und $6\,O_1$ parallel zu $m\,t$ zieht, in O_1 der Pol des Seilpolygons $m\,\alpha\,t$ erhalten; die Gerade $O_1\,q$ wird der zu $\alpha\,t$ gehörige Polftrahl, alfo parallel mit $\alpha\,t$.

Soll nun eine Gleichgewichtslage für das ganze Syftem herbeigeführt werden, wobei für irgend einen möglichen, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 auftretenden Kämpferdruck und dem Schube $D\,6$ des Gewölbes G eine Mittelkraft entftehen foll, welche durch einen gegebenen Punkt w geht, fo läfst fich der Schnittpunkt F der Richtungslinie eines folchen Kämpferdruckes mit $E\,E$ überhaupt folgendermafsen feftlegen.

Die durch den Punkt q im Gewichtsplane geführte wagrechte Linie $q\,s$ enthält ftets den Endpunkt des von D nach diefer Linie zu ziehenden Kämpferdruckes, weil $o\,6 = P$ und $6\,q = Q$ unveränderlich bleiben; ebenfo können $D\,o$ und die wagrechte Lage der Linie $q\,s$ keine Aenderung erfahren.

Aus diefem Grunde bleibt auch $o\,q$ ftets unverändert gleich V. Endlich ift auch der Punkt m der Hauptlinie M in $E\,E$ unverrückbar, wie auch der Pol O_1 nebft den Polftrahlen $o\,O_1$, $o_1\,6$, $o_1\,q$ nicht veränderlich wird.

Geht nun die Lotrechte V durch einen beliebigen Punkt auf $E\,E$, z. B. durch w, fo trifft der äufserfte Seilftrahl, welcher nach wie vor parallel $O_1\,o$ ift, diefe Lage von V in $\mathfrak{z}$. Durch diefen Punkt zieht auch, wie früher bemerkt, notwendig die zu $O_1\,q$ parallele zweite äufserfte Seilpolygonfeite. Legt man alfo durch $\mathfrak{z}$ einen Strahl $\mathfrak{z}\,F$ parallel $O_1\,q$, fo wird die wagrechte Schlufsfeite des Seilpolygons $m\,\mathfrak{z}\,F$ im feften Punkte F gefchnitten. Durch diefen Punkt F mufs der mit der lotrechten Seitenkraft Q behaftete mögliche Kämpferdruck gehen, welcher die durch w gehende, vorhin bezeichnete Mittelkraft bedingt. Von den zahllofen Linien, welche durch F, zwifchen i und k der Bruchfuge des Gewölbes G_1 liegend, gezogen werden können und welche fämtlich zwifchen diefen Grenzen i und k einen Kämpferdruck enthalten können, welcher der geftellten Forderung entfpricht, ift eine vorhanden, welche den jetzt möglich kleinften Kämpferdruck für G_1 enthält.

Zieht man zur Beftimmung diefer Linie durch F und den höchften Punkt i der Bruchfuge einen Strahl, fo fchliefst derfelbe den gröfsten Winkel mit der Wagrechten ein, der in Bezug auf die Punkte i und k möglich wird, fteht alfo am fteilften und wird deshalb, innerhalb des Dreieckes $6\,r\,s$ zur Führung einer durch 6 gezogenen Parallelen benutzt, einen kleineren Abfchnitt auf der Wagrechten $q\,s$ hervorrufen, als jeder andere von F nach der Fuge $i\,k$ gezogene Strahl, d. h. einen möglich kleinften Gewölbfchub für G_1 veranlaffen.

Zieht man im Gewichtsplane $6\,\mathfrak{J}$ parallel zu $F\,i$, fo ift $6\,v$ der gefuchte Kämpferdruck und $q\,v$ der zugehörige Horizontalfchub des Gewölbes G_1. Verlängert man den Strahl $F\,i$ bis zum Schnitte x mit der Lotrechten R_1 und legt man durch x eine Wagrechte, fo trifft diefe die Lotrechte L_1 der Scheitelfuge in y. Diefer Punkt wird Angriffspunkt für den Horizontalfchub $H_{\prime\prime}$. Zeichnet man für diefen Schub eine Mittellinie des Druckes $y\,\eta\,\mathfrak{z}\,i$, fo bleibt diefelbe ganz innerhalb der Gewölbfläche. Der Strahl $F\,i$ fchneidet die Hauptlinie M im Punkte z. Die Mittelkraft aus $D\,6$ und dem zuletzt ermittelten Kämpferdrucke $6\,v$ ift $D\,v$. Führt man durch z eine Parallele zu $D\,v$, fo trifft diefelbe in der That und, wie es fein foll, den Punkt w auf $E\,E$.

Hiernach ift der in $x\,i$ durch F ziehende Kämpferdruck $6\,v$ ein folcher, welcher, von dem hierfür möglich kleinften in der Wagrechten $x\,y$ wirkenden Gewölbfchube $H_{\prime\prime} = q\,v$ mitbedingt, fähig ift, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes des ganzen Syftems gegen Drehung um die Kante w der Fufsfläche des Widerlagers VI hervorzurufen.

Soll bei einer derartigen Stabilitätsunterfuchung die Prefsbarkeit des Materials berückfichtigt werden, fo ift beim Gewölbe G der Angriffspunkt von H etwas tiefer, der Punkt h in der Bruchfuge etwas nach innen zu rücken. Ebenfo wäre beim kleinen Gewölbe der Angriffspunkt von H_0 etwas tiefer, von H_1 etwas höher zu legen; auch wären die Punkte i und k ebenfalls je etwas in das Innere auf der Bruchfuge $k\,i$ zu verrücken. Der Punkt w kann gleichfalls nach q zu verlegt werden. Am eigentlichen Verfahren der Stabilitätsunterfuchung wird hierdurch keine Aenderung herbeigeführt.

Nach den an der Zeichnung ausgeführten Meffungen ergiebt fich für das Gewölbe G der Wert H zu $0{,}75 \cdot 1{,}5 = 1{,}125$ qm, welchem für Backfteinmaterial nach der Tabelle auf S. 62 eine Gewölbftärke von $1\frac{1}{2}$ Stein zuzuweifen ift. Für das kleine Gewölbe G_1 wird der hier zu berückfichtigende Horizontalfchub $H_{\prime\prime} = 0{,}4 \cdot 1{,}5 = 0{,}6$ qm, wonach die Gewölbftärke zu 1 Stein feftzufetzen ift.

Hätte man $H_1 = 0{,}56 \cdot 1{,}5 = 0{,}84$ qm in Betracht gezogen, ſo würde auch hierfür die Gewölbſtärke gleich 1 Stein ſein. Die normalen Kämpferdrücke erfordern im vorliegenden Falle keine gröſseren Stärken.

Die Fuſsfläche des Pfeilers erleidet einen Druck, deſſen lotrechte Seitenkraft $o\,q = 3{,}3 \cdot 1{,}5 \cdot 1 \cdot 1600$ kg iſt. Beim Angriffspunkte q, welcher nahezu mit dem Schwerpunkte der Fuſsfläche von 0,5 m Breite und 1 m Tiefe zuſammenfällt, ergiebt ſich die Beanſpruchung der Steine an der Grundfläche zu $\frac{4{,}95 \cdot 1600}{100 \cdot 50}$ $= 1{,}58$ kg für 1 qcm.

Liegt der Angriffspunkt der Geſamtreſultierenden aller Drücke des Syſtems in der Kräfteebene in einer Hauptachſe der Grundfläche des Widerlagers im Abſtande ξ vom Schwerpunkte dieſer Grundfläche, ſo iſt für einen Punkt C im Abſtande z von dieſem Schwerpunkte die Spannung N nach der Gleichung [11])

$$N = \frac{P}{F}\left(1 + \frac{F\,\xi\,z}{\mathfrak{J}}\right)$$

zu beſtimmen. Hierin bezeichnen P die gegebene lotrechte Kraft, F die Querſchnittsfläche und $\mathfrak{J}$ das Trägheitsmoment, bezogen auf eine Schwerpunktsachſe, welche rechtwinkelig zur Hauptachſe ſteht, worin der Angriffspunkt o von P liegt.

Sind hier b die Breite des Pfeilers mit rechteckiger Grundfläche und t die Tiefe desſelben, ſo iſt $\mathfrak{J} = \frac{1}{12}\,t\,b^3$ für die zu der Seite t parallel genommene Schwerpunktsachſe. Alsdann iſt $F = b\,t$, und man erhält

$$N = \frac{P}{t\,b}\left(1 + \frac{12\,\xi\,z}{b^2}\right).$$

Nach der Zeichnung iſt $b = 50$ cm und $t = 100$ cm; P ergiebt ſich zu $4{,}95 \cdot 1600 = 7920$ kg. Liegt der bezeichnete Angriffspunkt von P im Abſtande $\xi = \frac{b}{2}$, alſo in w und iſt dann für die Kantenpreſſung N der Abſtand z ebenfalls gleich $\frac{b}{2}$, ſo wird

$$N = \frac{7920}{100 \cdot 50}\left(1 + \frac{12 \cdot 25 \cdot 15}{25 \cdot 25}\right) = \backsim 20{,}6 \text{ kg für } 1 \text{ qcm}.$$

Dieſe Beanſpruchung iſt für Backſteinmaterial viel zu groſs, und es müſste dieſerhalb für das Widerlager eine gröſsere Breite oder feſteres Material angenommen werden. In jedem Falle iſt es zweckmäſsig, die Breite des Widerlagers zu vergröſsern, damit ſchon für dasſelbe eine Mittellinie des Druckes eintreten kann, welche für den Gewölbſchub des groſsen Gewölbes thunlichſt nur abhängig gemacht wird von einem Kämpferdrucke des kleinen Gewölbes, welcher durch die Minimaldrucklinie für H_0 bedingt iſt und wobei alsdann die Drucklinie im Widerlager im inneren Drittel ſeiner lotrechten Fläche bleibt.

c) Ausführung der Tonnengewölbe.

Zur Ausführung der Tonnengewölbe werden im allgemeinen weſentlich Back- 29. Allgemeines.
ſtein, Bruchſtein und, wenn auch in weniger häufigen Fällen, Quader (Werkſtücke, Hauſteine) als Hauptbauſtoffe benutzt, je nachdem in den einzelnen Gegenden dieſes oder jenes von den genannten Materialien als vorherrſchendes zur Verfügung ſteht und je nachdem die Durchbildung der als Tonnengewölbe ausgeführten Decke eines Raumes in architektoniſcher Beziehung mehr oder weniger reich, mehr oder weniger gegliedert in die Erſcheinung treten ſoll. Waren in früheſter Zeit die Tonnengewölbe bei der Deckenkonſtruktion über gröſseren Räumen von hohem Werte und in ihrer Ausführung oft ſo kühn behandelt, daſs die Reſte derſelben noch heute die Bewunderung der Kunſt- und Sachverſtändigen, ja jedes gebildeten Menſchen wachrufen, ſo iſt nach weiterer Entwickelung des Gewölbbaues überhaupt doch die Anwendung des Tonnengewölbes zur Ueberdeckung gröſserer Räume, um als wichtiger

---

11) Siehe: Teil I, Bd. 1, zweite Hälfte (Gleichung 50 auf S. 273: 2. Aufl.: Gleichung 69 auf S. 86; 3. Aufl.: Gleichung 102 auf S. 112) dieſes »Handbuches«.

Faktor bei monumentalen Bauwerken aufzutreten, mehr und mehr in den Hintergrund getreten, ſo daſs heute, mit wenigen, ja vereinzelt daſtehenden Ausnahmen, Tonnengewölbe bei Werken des Hochbaues nur zur Ueberdeckung von Kellerräumen, Treppenhäuſern, Durchfahrten und, wenn es höher kommt, von Eingangshallen Verwendung finden.

30. Mauerung der Tonnengewölbe.

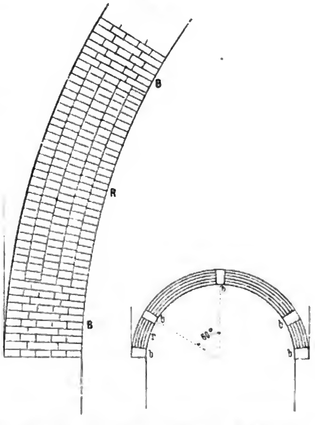
Bei der Mauerung der Tonnengewölbe gelten, ganz abgeſehen davon, ob als Wölbmaterial Backſtein, Quader oder Bruchſtein in Anwendung kommt, zuvor die Sätze:

1) in der Stirnfläche des Gewölbes ſoll eine ungerade Anzahl vom Schluſsſtein aus ſymmetriſch geordneter und gleichgeſtalteter Steine auftreten, welche durch Lagerfugen geſchieden ſind, die in erſter Linie, als einem Hauptverbande zukommend, Ebenen angehören, welche ſenkrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes und ſenkrecht zur Stirnfläche des Gewölbes ſtehen;

2) die Stoſsfugenflachen zwiſchen den Wölbſteinen ſollen in Ebenen liegen, welche ſenkrecht zur Laibungsfläche und ſenkrecht zur Gewölbachſe gerichtet ſind, doch ſo, daſs dabei die Stoſsfugen der benachbarten Wölbſchichten oder Wölbſcharen auf Verband angeordnet ſind, und

3) bei Gewölben von derartiger Stärke, wobei für jede Schicht ein einziger Stein nicht mehr ununterbrochen von der inneren Laibung bis zur Rückenlinie durchtreten kann, ſollen die einzelnen Wölbſcharen in jedem ſenkrecht zur Gewölbachſe genommenen Gewölbſchnitte (Stirnſchnitt) einen regelrechten Mauerverband aufweiſen.

Fig. 69.



Werden aus beſonderen Veranlaſſungen bei gröſseren Gewölben mit erheblicher Gewölbſtärke bei Verwendung von Backſteinen oder kleineren Bruchſteinen mehrere übereinander liegende Gewölberinge, ſog. Rollſchichten, zur Erzielung der erforderlichen Gewölbſtärke in Ausführung genommen, ſo iſt es dringend erforderlich, die Gewölbſtärke jedes einzelnen Ringes ſo zu beſtimmen, daſs bei n Ringen jeder Ring $\frac{1}{n}$ der Geſamtbelaſtung zu tragen vermag und daſs nach Fig. 69 an den gefährlichen Stellen b, bezw. B des Gewölbes, alſo im Scheitel, in den Bruchfugen oder in ihrer Nähe und am Kämpfer durchgehende, in regelrechtem Verbande ausgeführte Schichten eingefügt werden, zwiſchen welchen die Ringe r, bezw. R für ſich ausgemauert werden.

31. Mörtel.

Iſt bei den Unterſuchungen des Gleichgewichtszuſtandes der Tonnengewölbe im allgemeinen auf die innigere Verbindung der Wölbſteine durch Mörtel keine Rückſicht genommen, vielmehr vorausgeſetzt, daſs ein Gewölbe ſchon an ſich in

jedem beſonderen Falle ſtabil und tragfähig ſein ſoll, ohne daſs von vornherein der von der Wirkung des die Steine mehr oder weniger gut verkittenden Bindemittels, des Mörtels, abhängige Faktor mit in Rechnung geſtellt wird, ſo iſt doch bei der praktiſchen Ausführung der Tonnengewölbe, wie der Gewölbe überhaupt, auf eine zweckmäſsige Verwendung guten, mit Sorgfalt bereiteten Mörtels Bedacht zu nehmen, da hierdurch ſelbſtredend ein erhöhter Sicherheitsgrad für den Gewölbkörper erzielt wird.

Im Gewölbebau kommen entweder Luftmörtel, Kalkmörtel allein oder hydrauliſcher Mörtel, Zement für ſich oder endlich, und zwar mit groſsem Vorteil benutzbar, der ſog. verlängerte Zementmörtel, d. i. ein Gemiſch aus Zementmörtel und Kalkmörtel, zur Verwendung. Für Gewölbe, welche durchgängig aus Schnittſteinen oder Quadern hergerichtet werden, tritt die Verbindung der Steine durch Mörtel mehr in den Hintergrund, während die richtige Formgeſtaltung, Lagerung und Verbandanordnung der Wölbſteine vorwiegend in Betracht gezogen werden müſſen. Aus dieſem Grunde beſchränkt ſich die Mörtelgabe bei Quadergewölben vielfach beim Verſetzen der Steine zunächſt nur auf ein ganz dünnes Beſtreichen der Lagerfugenflächen mit ſog. Weiſskalk (gelöſchter Kalk ohne Sandzuſatz), um hierdurch in erſter Linie die noch bei der Bearbeitung der Steine etwa verbliebenen geringfügigen Unebenheiten der Flachen auszugleichen, und ſodann, nach der Fertigſtellung des Gewölbes, auf das Vergieſsen der Fugen mit dünnflüſſigem, nicht zu ſchnell erhärtendem Mörtelbrei.

Zu beachten iſt, daſs die Gewölbanfänger, wenn dieſelben vorgekragt werden, ohne weiteres gleich mit dem Geſchoſs, bezw. Widerlagsmauerwerk in regelrechtem Verbande und bei Backſtein- oder Bruchſteinmauerwerk am zweckmäſsigſten mit Verwendung von verlängertem Zementmörtel ausgeführt werden. Zu dieſem Mörtel benutzt man vorteilhaft das Gemiſch von 1 Raumteil Kalkmörtel, im Miſchungsverhältnis 1 Teil gelöſchten Kalk, 3 Teile reinen ſcharfkörnigen Mauerſand und 1 Raumteil Zementmörtel, im Miſchungsverhältnis von 1 Teil Zement und 3 Teilen reinen Fluſsſandes, bezw. Mauerſandes, oder auch ein Gemiſch von 2 Raumteilen des bezeichneten Kalkmörtels und 1 Raumteil des angegebenen Zementmörtels. Ein inniges Mengen beider Mörtelarten iſt vorzunehmen.

Es iſt ratſam, Gewölbe von gröſserer Spannweite oder ſtark zu belaſtende Gewölbe, welche aus Backſteinmaterial (volle Backſteine oder Lochſteine) oder aus Bruchſtein ausgeführt werden, immer mit verlängertem Zementmörtel, unter Umſtänden auch mit Zementmörtel allein herzuſtellen.

Im Hochbauweſen erfolgt die Ausführung der Gewölbe am beſten erſt dann, wenn ſich für den Gewölbkörper die Einwirkung von Niederſchlägen beim Vorhandenſein der Ueberdachung des Bauwerkes nicht mehr geltend machen kann. 32. Zeit der Ausführung.

Erheiſchen beſondere Umſtände eine frühere Herſtellung der Gewölbe, ſo ſind dieſelben nach ihrer Vollendung mit einer genügend ſtarken Sandſchüttung zu überwerfen und hierauf noch mit einer aus Dachpappe oder dergl. beſtehenden Schutzdecke zu verſehen, damit etwa auf das Gewölbe herabfallende Bauteile dasſelbe nicht durchſchlagen und damit ferner das auf das Gewölbe kommende Regenwaſſer nicht nachteilig wirken kann. Damit das letztere in geeigneter Weiſe abflieſsen und ſchlieſslich fachgemäſs fortgeleitet werden kann, ſind unter Berückſichtigung von Gefälle in den Gewölbzwickeln an einem Punkte oder bei langen Gewölben an mehreren Stellen Abfluſsöffnungen von etwa 12 cm Länge und Breite, bezw. 25 cm

Länge und 12 cm Breite anzulegen, durch welche einſtweilig Abfluſsröhren geführt werden.

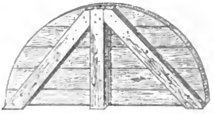


Fig. 70.

33. Rüſtungen. Die Einwölbung der Tonnengewölbe erfolgt, gleichgültig welches Material dabei zur Verwendung gelangt, auf beſonderen, meiſtens aus Holzwerk angefertigten, möglichſt leicht aufzuſtellenden und nach der Benutzung auch möglichſt mühelos wieder zu löſenden Rüſtungen.

Von der geſamten Rüſtung ſind die Rippen oder Rüſtbogen die weſentlichſten Beſtandteile. Für kleinere Gewölbe werden zu dieſen Rippen einfache Wölbſcheiben oder auch einfache Lehrbogen benutzt, während hierfür bei gröſseren Gewölben trägerartige, aus entſprechend ſtarken Hölzern abgebundene Zimmerwerke, die ſog. Lehrgerüſte, zur Anwendung kommen.

Die einfachen Wölbſcheiben beſtehen nach Fig. 70 aus zuſammengefügten Brettern von 30 bis 35 mm Stärke, welche oben nach der Wölblinie geſchnitten, ſonſt nur durch ſeitlich aufgenagelte Leiſten von 15 bis 20 cm Breite und 30 bis 50 mm Stärke miteinander verbunden ſind.

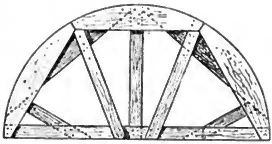
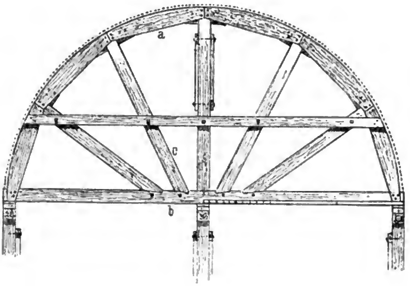


Fig. 71.

Bei den einfachen Lehrbogen (Fig. 71) ſind bei ſtärkerer Ausführung zwei nebeneinander liegende Brettſtücke von 30 bis 35 mm Stärke zu einem der Wölblinie angepaſsten Wölbkranze vereinigt. Dieſer Wölbkranz erfährt weiter durch Leiſten oder Bretter, welche ſtrahlenförmig von einem wagrechten Grundbrett ausgehen, eine Abſteifung und Befeſtigung.

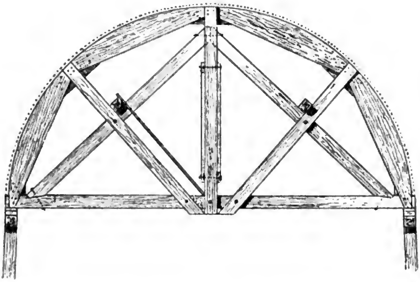
Einen einfachen Lehrbogen, welcher jedoch ſchon den Uebergang zu den Gerüſtbogen eines Lehrgerüſtes bildet, zeigt Fig. 72. Hierbei iſt der aus etwa 5 cm ſtarken, 1,50 m bis höchſtens 3,00 m langen Bohlen angefertigte Wölbkranz *a* mit der Schwelle *b* durch einzelne Pfoſten *c* in kräftige Verbindung gebracht.

Fig. 72.



Bei gröfseren Lehrgerüften ift das Holzwerk der Rippen fo zu ordnen, dafs möglichft unverfchiebbare Dreiecksverbindungen entftehen. Zwifchen die Berührungsflächen derjenigen Verknüpfungspunkte, bei welchen durch die Belaftung der Rüft-

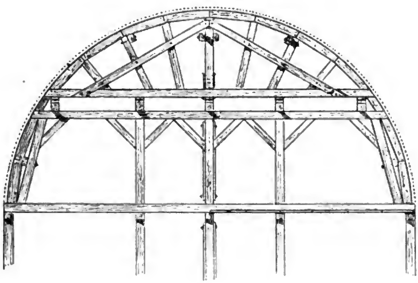
Fig. 73.



bogen die Hölzer fich leicht ineinander preffen können, find zweckmäfsig dünne Streifen aus Weifs-, Zink- oder Kupferblech zu legen.

Meiftens werden derartige Rüftbogen als Häng- und Sprengwerke mit durchgehender wagrechter Schwelle konftruiert. Seltener find im Hochbauwefen die ge-

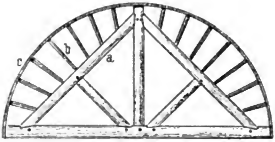
Fig. 74.



fprengten Gerüfte, deren Streben unmittelbar nach dem Widerlager, bezw. nach dem Fufsboden des zu überwölbenden Raumes geführt werden. In Fig. 73 u. 74 find Rippen mit durchgehender Schwelle und darüber befindlichem Streben- nebft Hängefäulenfyftem dargeftellt. In Fig. 75 ift eine Rüftbogenkonftruktion gegeben,

bei welcher in den Randhölzern *a* radial gerichtete Stäbe *b* zur Aufnahme gebogener Latten *c* dienen, welche dann die 2,0 bis 2,5 cm ftarke Schalung aufnehmen.

Fig. 75.



Die Stäbe oder Speichen *b* find rund, befitzen einen Durchmeffer von 5 bis 8 cm und werden unten etwas zugefpitzt, in 3 bis 5 cm weite, 10 cm tiefe Löcher gefteckt, welche in den Randhölzern *a* in Entfernungen von etwa 40 cm vorgebohrt werden. Die auf dem Kopfe der Stäbe mit Nägeln befeftigten, etwa 2 × 4 cm ftarken Latten werden vor ihrer Verwendung im Waffer geweicht, um dadurch leichter biegfam zu werden.

Die Schwellen, Pfoften und Randhölzer find vielfach als Rundholz von 15 bis 22 cm Durchmeffer ohne weiteres Befchlagen gelaffen.

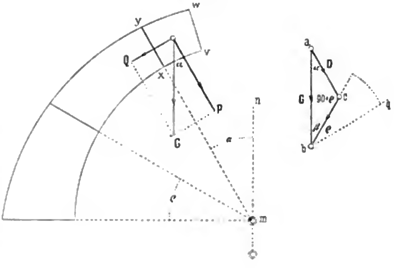
Diefe Lehrbogen, welche in vielen Gegenden am Rhein Anwendung finden, find für die Einwölbung in Entfernungen von etwa 0,60 m aufzuftellen.

Sollen die Rüft- oder Lehrbogen als eigentliche Träger der nach und nach von den Bogenanfängen aufgebrachten Wölbfchichten hinfichtlich ihrer durch das Gewicht der Wölbfteine erfolgenden Beanfpruchung einer Unterfuchung unterzogen werden, fo ergiebt fich zunächft, dafs von allen Wölbfchichten, deren Lagerflächen eine geringere Neigung zur Wagrechten haben, als der Reibungswinkel des Wölbmaterials beträgt, kein Druck auf den Tragbogen ausgeübt wird. Sodann aber ergiebt fich weiter, dafs eine Wölbfchicht, deren Lagerfläche in ihrer Neigung diefen Reibungswinkel überfchreitet, abgleiten würde und nur durch ihre vom Rüftbogen getragene Unterlagerung hieran verhindert wird. Diefe Wölbfchicht erzeugt alfo einen Druck für den Rüftbogen. Verfolgt man jede weitere Wölbfchicht bis zur Scheitelfchicht, fo ergiebt fich ein fortwährendes Steigen der Gröfse der einzelnen Drücke der Wölbfchichten, und erft nach dem vollftändigen Schluffe des Gewölbes kann, da das Gewölbe alsdann frei für fich beftehen foll, die Entlaftung der Rüftbogen fich geltend machen.

34
Druck
auf die
Rüftbogen.

Für den Rüftbogen felbft kommen die von einer Anzahl von Wölbfchichten hervorgerufenen gröfsten Drücke in erfter Linie in Betracht. Zur Beftimmung diefer gröfsten Belaftung des Rüftbogens benutzt man ein zeichnerifches Verfahren, welches jedoch unter der nicht ganz ftrengen Annahme, dafs die Preffungen immer in winkelrechter Richtung für den Rüftbogen wirken, nur als Näherungsverfahren anzufehen ift. Da die Theorie der Rüftbogen indeffen für die praktifche Ausführung keine hervorragende Bedeutung hat, diefelbe auch einem anderen als dem hier betretenen Gebiete angehört, fo möge nur das gewöhnliche Verfahren angegeben werden, welches zur Ermittelung des an irgend einer Stelle auftretenden gröfsten Druckes dient.

Fig. 76.

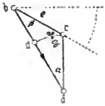


In Fig. 76 ſei $xyvw$ ein Wölbſtein von ſehr geringer Breite $xv = b$, von der Tiefe gleich der Längeneinheit und vom Gewichte v für die Körpereinheit. Alsdann iſt das Gewicht dieſes Wölbſteines, da die Höhe h desſelben als xy und die Breite b für das ſchmale Stück beibehalten werden können, beſtimmt als

$$G = b \,.\, h \,.\, 1 \,.\, v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 65.$$

Der Körper ruht auf der beliebig angenommenen Lagerfläche xy, welche unter einem Winkel α zum Scheitellote mn geneigt iſt. Bezeichnet ρ den Reibungswinkel des Materials, ſo erhält man nach der Lehre von der ſchiefen Ebene unter Bezugnahme auf Fig. 76 und auf die darin vorgenommene Zerlegung von G in die Seitenkräfte P und Q, diejenige Kraft D, welche den Körper auf der ſchiefen Ebene xy abwärts zu treiben ſucht und welche dem Drucke auf die Unterlage des Wölbſteines entſprechen ſoll, als

Fig. 77.



$$D = P - \operatorname{tg} \rho \,.\, Q,$$

d. h., da $P = G \,.\, \cos \alpha$ und $Q = G \,.\, \sin \alpha$ iſt, auch

$$D = G\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha) \quad \ldots\ldots \quad 66.$$

Dieſer Ausdruck läſst ſich nach Fig. 76 leicht durch Zeichnung darſtellen. Nimmt man $ab = G$, zieht man ac parallel zu P, bq parallel zu Q und trägt man alsdann den Winkel $cbq = \rho$ an bq, ſo ſchneidet der Schenkel bc den Strahl ac in c, und im Dreiecke abc iſt ac gleich dem geſuchten Werte von D.

Denn es iſt

$$\frac{D}{G} = \frac{\sin \beta}{\sin (90 + \rho)} = \frac{\sin\,[90 - (\alpha + \rho)]}{\cos \rho} = \frac{\cos (\alpha + \rho)}{\cos \rho} = \frac{\cos \alpha \,.\, \cos \rho - \sin \alpha \,.\, \sin \rho}{\cos \rho},$$

alſo auch

$$D = G\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha).$$

Bringt man das Dreieck abc in die Lage von Fig. 77, indem man $ab = G$ parallel zu xy zieht, ſo ergiebt ſich auch ac als D. Schlägt man ac von a aus auf ab nieder, ſo iſt auch $da = D$ der für den Wölbſtein $xyvw$ in Frage kommende Druck.

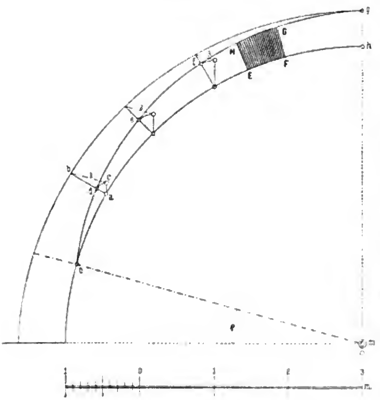
Setzt man in Gleichung 66 für G den Wert aus Gleichung 65, ſo wird

$$D = bhv\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha),$$

und hieraus folgt weiter

$$\frac{D}{bv} = z = h\,(\cos \alpha - \operatorname{tg} \rho \,.\, \sin \alpha) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 67.$$

Fig. 78.



Dieſer Wert von z bezeichnet den ſpezifiſchen Druck des Rüſtbogens im Punkte x. Derſelbe kann nach Maſsgabe von Fig. 76 u. 78 wiederum leicht durch Zeichnung ermittelt werden, ſobald man für jeden Punkt x nur die Strecke ab gleich der zugehörigen Fugenlänge $xy = h$ nimmt und ſonſt unter Benutzung des veränderlichen Winkels α, wie derſelbe der jedesmal gewählten Fuge zukommt, und des als unveränderlich geltenden Reibungswinkels ρ ganz nach Fig 77 verfährt.

Am einfachſten wird dieſe Darſtellung gleich in der Stirnfläche des Gewölbes, wie Fig. 78 zeigt, ſelbſt vorgenommen. Bei der hier gegebenen Beſtimmung der einzelnen Drücke iſt der Reibungswinkel ρ nur zu 15 Grad gewählt, um der durch den friſchen Mörtel bewirkten weſentlichen Verminderung der Reibung zwiſchen den Lagerflächen Rechnung zu tragen.

Verbindet man die für mehrere Fugen gewonnenen Punkte d, e, f u. ſ. f., wobei die Strahlen 1, 2, 3 u. ſ. f.

fämtlich parallel zu $m o$ geführt werden, durch einen Linienzug, fo begrenzt derfelbe gemeinfchaftlich mit der inneren Wölblinie die Fläche $o d e f g h$ der gröfsten, rechtwinkelig zum Rüftbogen wirkenden Drücke. Soll mit Hilfe diefer Zeichnung der gröfste auf die Fläche $E F$ kommende Druck D ermittelt werden, fo ergiebt fich für die Tiefe gleich der Längeneinheit nach Gleichung 67: $D = z b v$, d. h., da $z b$ die Fläche $E F G H$ darftellt, die Regel: man beftimme die Mafszahl des Flächeninhaltes des Stückes $E F G H$ der Druckfläche und multipliziere diefelbe mit der Mafszahl des Gewichtes der Körpereinheit des Wölbmaterials, um den Wert des für die Länge $E F$ in Frage kommenden Druckes zu erhalten.

Aus der Druckfläche ergiebt fich die Zunahme der rechtwinkelig zum Rüftbogen gerichteten Preffungen vom Punkte o gleich Null bis zum gröfsten Drucke $g h$ im Punkte h des Gewölbefcheitels. Für die Konftruktion des Rüftbogens folgt hieraus, dafs bis zum Punkte o keine Unterftützung der Wölbfteine durch diefen Bogen notwendig wird, dafs alfo bis zu diefem Punkte vom Kämpfer aus, wie Fig. 74 (S. 81) zeigt, die Anordnung der Rippe fich auf einfachere verbindende Teile, vom Punkte o ab bis zum Scheitel jedoch aufser verbindenden Teilen noch auf kräftigere, ftützende Konftruktionsglieder zu erftrecken hat.

35. Unterlagerung

Die einzelnen Rippen werden parallel zur Stirnebene des Gewölbes in Entfernungen von 1 m bis höchftens 2 m hintereinander aufgeftellt. Hierzu bedürfen diefelben einer kräftigen Unterlagerung, welche als weiteres Zubehör des Lehrgerüftes auftritt. Diefe Unterlagerung mufs fo hergeftellt fein, dafs die einzelnen Rippen während der Ausführung des Gewölbes fich nicht in merkbarem Grade fenken, fich nicht verfchieben oder verdrehen können. Zweckmäfsig ift eine Unterftützung, welche möglichft aus lotrecht oder aus fchwach geneigten Pfoften befteht, welche dann rechtwinkelig zu den Rippen ziehende Rahmhölzer oder Holme erhalten, alfo in ihrem Wefen ähnlich der Anordnung einer feften Fachwerkwand erfcheint. Hänge- und Sprengwerkskonftruktionen zu folchen Unterftutzungen zu wählen, ift deshalb weniger vorteilhaft, weil bei diefen leichter das Zufammendrücken der verfchiedenen Verbandhölzer und damit leichter das unbeabfichtigte Senken der Rüftbogen eintreten kann. Im Hochbauwefen laffen fich bei gröfseren Gewölben derartige Hänge- und Sprengwerksunterftützungen dann nicht gut vermeiden, wenn der Raum unter der Deckenbildung während der Bauzeit möglichft frei zu laffen ift. In folchen Fällen mufs in jeder Beziehung für eine kräftige Durchbildung diefer Unterftützungen geforgt werden. Wie auch die Art der Unterftützungen fein mag, ftehend oder liegend, immer müffen diefelben unter fich noch durch Längshölzer, Kreuzftreben u. f. w. abgefteift werden, um als unverfchiebbares Gerippe aufzutreten.

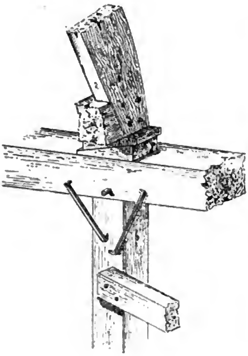
36. Ausrüftungsvorrichtungen.

Von Bedeutung ift die Auflagerung der Rippen auf der darunter befindlichen Stützkonftruktion.

Da die Rippen auf ihrer oberen Begrenzung eine weitere Bekleidung, die fog. Schalung, wovon gleich die Rede fein wird, aufzunehmen haben, welche in ihrer oberen Mantelfläche der Laibungsfläche des Gewölbes zu entfprechen hat, fo mufs von vornherein ein genaues Aufftellen der Rüftbogen vorgenommen werden; da aber auch andererfeits die Löfung der Rüftbogen nach gefchehener Einwölbung leicht, allmählich, fanft und nicht ftofsweife erfolgen mufs, damit nach dem veranlafsten Senken der Rippen das etwaige Setzen des Gewölbes ohne Nachteil für dasfelbe ftattfinden kann, fo find diefen Bedingungen gemäfs die Lagerungen der Rüftbogen auszubilden.

Zu diefen Lagerungen benutzt man in vielen Fällen aus hartem Eichen-, Weifsbuchen-, Efchenholze u. f. w. angefertigte Doppelkeile mit mäfsiger Schärfe von 10 bis 15 cm Breite, 20 bis 30 cm Länge und 6 bis 10 cm Dicke (Fig. 79), welche zwifchen den Holm der Unterftützung und die Sohle der Rippe gelegt werden. Durch ein geringes Antreiben oder andererfeits durch ein fanftes Löfen diefer Keile,

Fig. 79.

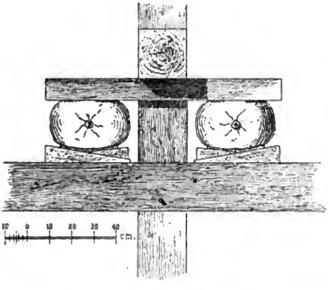


welche ab und an auch zur Verminderung der Reibung mit ſchwarzer Seiſe dünn beſtrichen werden, iſt ein leichtes Heben oder Senken der Rüſtbogen möglich.

Auſser ſolcher Keillagerung kommen bei gröſseren Gewölben auch Sandſäcke, beſſer Sandbüchſen oder Sandtöpſe, und unter Umſtänden auch Schraubenſätze zur Verwendung.

Die Sandſäcke ſind aus feſtem Zeug, Segelleinwand oder auch aus Leder angefertigte Beutel, welche an einem Ende zugeſchnürt werden können. Dieſe Säcke werden mit ganz reinem, durchaus trockenem, feinem Sande äuſserſt feſt gefüllt und entweder gleich beim Aufſtellen der Rüſtungen ſtatt der eben bezeichneten Keile eingelegt oder erſt ſpäter nach Vollendung der Wölbung zwiſchen Holm und Schwelle gebracht. Im letzteren Falle ſind die Rüſtbogen während der Wölbung durch einen Holzpfoſten, auf welchem ein kurzes Lagerholz liegt, geſtützt. Die Pfoſten werden nach Schluſs des Gewölbes an jeder Seite von Sandſäcken (Fig. 80), die durch angeſchobene kleine Holzkeile weiter gerichtet ſind, umlagert und dann keilförmig eingeſchnitten, ſo daſs ſie zum Umkippen gebracht werden können. Iſt dieſes Umkippen erfolgt, ſo ſetzen ſich die kurzen Lagerhölzer mit den Rüſtbogen unmittelbar auf die Sandſäcke. Wird die Schnürung derſelben vorſichtig gelöſt, ſo rinnt der Füllſand in feinen Fäden langſam aus, und die Rüſtbogen ſenken ſich in regelmäſsiger, ſtoſsfreier Weiſe. Unter Umſtänden befördert man das Ausflieſsen des Sandes noch durch Anrühren desſelben mit Hilfe eines Eiſendrahtes oder Holzpflockes.

Fig. 80.

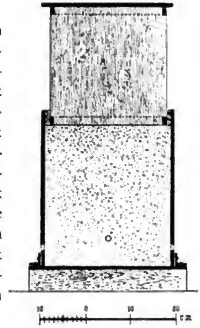


Die Sandbüchſen oder Sandtöpſe (Fig. 81) ſind cylindriſche, aus Guſs- oder Schmiedeeiſen angefertigte Gefäſse mit Boden. In den Seitenwandungen derſelben ſind in geringer Entfernung über dem Boden kleine Oeffnungen angebracht, welche durch einen dünnen Holzpflock geſchloſſen werden. Zur Büchſe gehört weiter ein cylindriſcher Stempel, welcher aus Guſseiſen oder aus einem oben und unten mit Eiſenringen beſchlagenen Holzkörper beſteht. In die Sandtöpſe wird wiederum eine in ihren Eigenſchaften ſchon vorhin beſchriebene Sandfüllung gebracht; die Stempel werden ſo aufgeſetzt, daſs unter denſelben eine genügende Sandlage verbleibt und die ſo eingerichtete Büchſe nach ihrer Einfügung zwiſchen Holm und Schwelle das

richtige und genaue Aufſtellen der Rüſtbogen möglich macht.

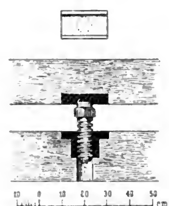
Nach der Ausführung des Gewölbes wird das Löſen der Rüſtbogen durch Ausziehen der Verſchlüſſe der Oeffnungen der Büchſen eingeleitet. Die Sandfüllung derſelben rieſelt aus, und die Senkung der Rüſtbogen geht langſam vor ſich. Hierzu iſt aber vollſtändige Trockenheit des reinen Sandes notwendig, da derſelbe, feucht geworden und durch die Belaſtung gepreſst, ſich zuſammenballt und nicht ausfließt, ſelbſt wenn durch Nachhelfen mittels eines Eiſendrahtes dieſes Fließen befördert werden ſollte. In ſolchem Falle müſſen die Sandtöpfe mit ſtark erwärmten Sandbeuteln umlegt werden, um hierdurch den Sand in den Büchſen wieder in möglichſt trockenen Zuſtand zu ſetzen. Offenes Feuer darf ſelbſtverſtändlich zum Trocknen des Büchſenſandes nicht in Anwendung kommen.

Fig. 81.



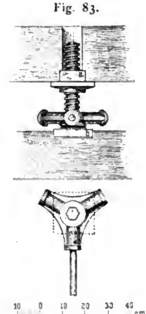
Die Schraubenſätze ſind einfache Hebeſchrauben. Die in Fig. 82 gegebene Hebeſchraube ſteht zwiſchen dem Holme des Untergerüſtes und der Schwelle des Rüſtbogens, während bei der in Fig. 83 dargeſtellten Schraube die Schraubenmutter *a* in der Schwelle befeſtigt, die Schraubenſpindel weiter jedoch durch eine Oeffnung derſelben geführt wird. Im Holm des Rüſtbogens iſt die Scheibe *b* verlegt, gegen welche der Dorn des Kopfendes der Spindel tritt. Durch entſprechendes Andrehen der Schraubenſpindel erfolgt das Heben oder Senken des Rüſtbogens.

Fig. 82.



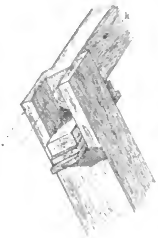
Derartige Schraubenſätze werden bei größeren Gewölben auch wohl gemeinſchaftlich mit Doppelkeilen angewandt. Sind die letzteren beim Aufſtellen der Rüſtbogen genau eingefügt, ſo werden die Schraubenſätze ſeitlich von denſelben aufgeſtellt. Nach dem Einwölben werden die Schrauben mäßig angedreht, um die Rüſtbogen in geringem Maße zu heben und dadurch die Keile etwas zu lüften. Nach dem nunmehr müheloſen Entfernen der Keile ruhen die Rüſtbogen nur noch auf den Schraubenſätzen, welche für die jetzt vollſtändig zu beherrſchende Senkung der Rüſtbogen in Thätigkeit geſetzt werden können.

Fig. 83.



Bei beſonders großen Gewölben des Hochbauweſens iſt der Wölbkranz der Rüſtbogen nicht aus Bohlen hergerichtet, die unmittelbar mit dem Stützenwerk feſt verbunden ſind, ſondern aus ſog. Kranzhölzern *k* (Fig. 84) von etwa 2 m Länge und genügender Stärke angefertigt, welche in Ausſchnitten (Scheren) ihrer Stützen liegen und durch Doppelkeile, wie Fig. 84 zeigt, unterlagert ſind.

Fig. 84.



Bei ſolcher Anordnung iſt die Senkung der Kranzhölzer durch Lockern der Keile allein ſchon zu beſchaffen.

Den oberen Abſchluſs der Rüſtbogen bildet die Schalung. 37 Schalung.
Hierunter verſteht man einen Belag aus Bohlen, Schalbrettern oder aus Latten, Gewölbelatten, welche in ihrer oberen Fläche eine der Laibung des Gewölbes genau entſprechende Mantelfläche liefern. Die Bohlen werden dicht nebeneinander gelegt, während die Latten mehr oder weniger breite Fugen zwiſchen ſich laſſen.

Die Rüſtbogen ſind die Träger der Schalung, welche rechtwinkelig über dieſe Bogen hinwegzieht. Die Bohlen erhalten im allgemeinen keine weitere ausgiebige Befeſtigung mit den Rüſtbogen. Dieſelben werden meiſtens nur an ihren Enden mit dünnen Drahtſtiften geheftet. Die Scheitelbohle wird unter Umſtänden mehrfach geheftet, da hierdurch ſchon das ſeitliche Verſchieben der Rüſtbogen gegeneinander mit vermieden wird. Die Latten werden jedoch zweckmäſsig mit Drahtſtiften aufgenagelt. Alle dieſe Befeſtigungen müſſen aber nach dem Ausrüſten, alſo nach dem Senken der Rüſtbogen, mühelos in einfachſter Weiſe gelöſt werden können. Zur Vermeidung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der inneren Wölbfläche während der Ausführung muſs die Schalung ſo ſtark ſein, daſs dieſelbe ſich bei ihrer Belaſtung durch die Wölbſteine überall in bemerkbarer Weiſe nicht durchbiegt. Je nach dem Abſtande der Rüſtbogen voneinander erhalten die 20 bis 25 cm breiten Bohlen eine Stärke von 3 bis 5 cm. Die Gewolbelatten beſitzen in der Regel einen quadratiſchen Querſchnitt, deſſen Seitenlänge zwiſchen 5 bis 15 cm ſchwankt.

Backſtein- und Bruchſteingewölbe, ſowie auch ſchiefe Gewölbe erhalten meiſtens und auch zweckmäſsig eine geſchloſſene Bohlenverſchalung. Quadergewölbe jedoch werden ſachgemäſs auf einer Lattenſchalung ausgeführt. Hierbei unterſcheidet man die Schalung mit ſog. halben Latten (Fig. 85) und Schalung mit ſog. ganzen Gewölbelatten (Fig. 86). Bei der erſteren liegt eine Schallatte mitten unter jeder Lagerfuge von zwei zuſammentretenden Wölbſteinen. Dieſe Anordnung iſt beim Verſetzen der Steine vorteilhaft, geſtattet aber das Beobachten der Lagerfugen von unten aus nicht, und daher iſt die zweite Art der Lagerung der Schallatten mitten unter jedem Wölbſtein, wonach das genaue Verfolgen der geraden Richtung der Lagerfugenkanten von unten aus möglich wird, bei Quadergewölben vorzuziehen.

Fig. 85.

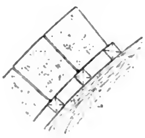
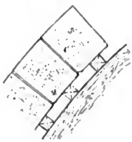


Fig. 86.



Auf der Schalung, gleichgültig ob Bohlen- oder Lattenſchalung vorhanden iſt, 38. Einwölbung
wird vor Beginn der Wölbung die Teilung des Gewölbes durch Blei- oder Kohlenriſſe vorgenommen. Je ſorgfältiger dieſe Teilung ſtattgefunden hat, um ſo leichter und beſſer iſt die Ausführung des Gewölbes zu beſchaffen und zu überwachen.

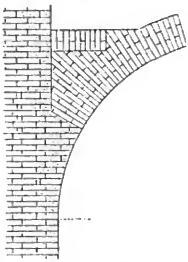
Die Einwölbung ſelbſt beginnt unter Beobachtung eines ſorgfältigen Annäſſens der Wölbſteine gleichzeitig vom Widerlager aus und geht regelmäſsig und in Bezug

zur Scheitellinie fymmetrifch weiter bis zur letzten Schicht, der Schlufsfteinfchicht. Durch zweckmäfsiges Verteilen des zu benutzenden Wölbmaterials auf der Schalung, bezw. auf befonderen an den Rüftbogen gefchaffenen Belaftungsböden, für welche die vorhandenen wagrechten Verbindungshölzer der Rippen als Unterlager dienen können, ift man beftrebt, die Ungleichmäfsigkeit in der Belaftung und die hierdurch bewirkte Formveränderung der Gerüftkonftruktion während des Einwölbens thunlichft zu befeitigen.

Beim Einfetzen der Schlufsfteinfchicht ift mit Vorficht zu verfahren. Scharfes Eintreiben der Steine diefer Schicht durch mit Erfchütterungen verknüpfte Stöfse ift zu vermeiden, weil hierdurch nicht allein eine unangenehme Wirkung für das Lehrgerüft, fondern auch leicht das Zerfpringen der Mörtelbänder oder gar einzelner Steine herbeigeführt wird. Bei guter und aufmerkfam vorgenommener Wölbungsarbeit bleibt für die Schlufsfteinfchicht die genau bemeffene Lücke übrig, welche alsdann voll und regelrecht durch die zugehörigen Wölbfteine gefüllt werden kann. Häufig wird die Schlufsfteinfchicht erft trocken vermauert, bezw. verfetzt und dann in den engen Fugen mit einem Zementmörtel vergoffen, wobei zu beachten ift, dafs diefer Mörtel die Fugen vollftändig füllt. Diefes Verfahren ift immerhin zu empfehlen, da hierdurch alle Erfchütterungen des Gewölbkörpers vermieden werden.

Nach der Vollendung des Gewölbes ift ftets noch eine Prüfung der Fugen auf der Rückenfläche desfelben vorzunehmen. Etwa vorhandene offene Stellen derfelben find mit Mörtel zu dichten. Sehr zweckmäfsig erfolgt hierauf ein Uebergiefsen der ganzen Rückenfläche mit einem dünnflüffigen Kalk- oder beffer Zementmörtel, welcher mit Hilfe eines Reifigbefens in einer dünnen Schicht ausgebreitet wird. Hierdurch werden etwa in den Fugen noch vorhandene Lücken gleichzeitig mit ausgefüllt. Nachdem dies gefchehen, ift die Ausmauerung der Gewölbezwickel, bezw. das Ausfüllen derfelben mit Grobmörtel (Beton) vorzunehmen. Letztere Ausfüllung erfetzt jedoch die Ausmauerung nicht vollftändig und follte deshalb nur bei kleinen Gewölben in Anwendung kommen.

Fig. 87.



Zum Teile kann die Hintermauerung der Zwickel auch nach Fig. 87 gleich bei der Ausführung des Gewölbes im Wölbverbande mit hergeftellt werden.

39. Zeit der Ausrüftung. Von jeher hat die Frage, wann die Ausrüftung des gefchloffenen Gewölbes, d. h. die Senkung der Rüftbogen, bezw. die Entfernung derfelben, gefchehen foll, eine Rolle gefpielt. Von einer Seite wird die fofortige Ausrüftung der Gewölbe nach ihrer Vollendung, von anderer Seite die Ausrüftung nach einiger Zeit, welche dem Fugenmörtel bereits eine Erhärtung geftattet hat, empfohlen.

Wird die Ausrüftung fofort nach der Vollendung des Gewölbes vorgenommen, fo ift der Mörtel noch weich; die Wölbfteine preffen fich aneinander und bewirken, namentlich in der Nähe der Bruchfugen, das Hervorquillen des Mörtels aus den Lagerfugen. Das Gewölbe vermag fich bei fonft entfprechender Anordnung, durch den Mörtel wenig beeinflufst, allerdings in den Gleichgewichtszuftand zu fetzen; aber die wünfchenswerte Eigenfchaft, dafs der in feinen Wölbfteinen durch Mörtel verbundene Wölbkörper fich thunlichft einem elaftifchen Bogen mit gefchloffener Wand

nähern möge, wird hierdurch ohne weiteres nicht hervorgerufen. Sind die Gewölbe nur mit Kalkmörtel gemauert, ſo iſt bei ſofortiger Ausrüſtung das Ausquillen der Fugen oft recht ſtark bemerkbar; weniger ſtark zeigt ſich dieſes Hervorquillen bei Verwendung von verlängertem Zementmörtel oder reinem Zementmörtel. Mit einer Verminderung und Zuſammenpreſſung der Mörtelbänder in den Lagerfugenflächen iſt offenbar eine Verkürzung der Bogenlänge und eine Formveränderung des Gewölbes, das ſog. Setzen desſelben, verbunden, und es dürfte einleuchtend ſein, daſs, je mehr das Zuſammenpreſſen der noch weichen Mörtelbänder ſich geltend macht, deſto gröſser auch das Setzen oder die Senkung des Gewölbes ſein muſs. Solche Senkungen ſollen aber bei jedem Gewölbe auf das möglich geringſte Maſs beſchränkt werden, und ſomit folgt, daſs, zur Vermeidung ſtarker Zuſammenpreſſungen der Mörtelbänder, dem Mörtel ſelbſt eine gewiſſe Zeit zu ſeiner Erhärtung und zu ſeinem Verbinden mit den Wölbſteinen zu laſſen iſt. Daſs durch die innigere Verbindung des Mörtels mit den Wölbſteinen eine gröſsere Standfähigkeit erzielt werden muſs, lehren die Gewölbe früherer Zeit, welche einem Abbruche unterworfen werden muſsten. Konnte doch oft bei ſolchen Gewölben die Schluſsſteinſchicht ihrer ganzen Länge nach beſeitigt werden, ohne daſs die Gewölbſchenkel nach innen einſtürzten; konnten doch oft dieſe Gewölbſchenkel ſelbſt nur durch Zerſtören mittels kräftiger Sprengsſtoffe beſeitigt werden! Die Wölbſteine waren vollſtändig verkittet; das Gewölbe war ein in ſich nahezu gleichartiger Körper; von einem Senken dieſes Körpers oder der Erſcheinung klaffender Fugen kann keine Rede mehr ſein.

Durch dieſe Geſichtspunkte gelangt man in logiſcher Weiſe zu dem Ergebnis, daſs eine ſofortige Ausrüſtung derjenigen Gewölbe, bei welchen, wie bei Backſtein- oder Bruchſteingewölben, die Mörteleinfügung immer eine Bedeutung annimmt, weniger ratſam iſt, als die nach einiger Zeit nach Schluſs des Gewölbes vorgenommene Ausrüſtung. Der Gewölbkörper muſs eben durch die Verkittung mit Mörtel ſeine ihm urſprünglich angegebene Form in beſſerer Weiſe beibehalten, als ſolches bei ſofortiger Ausrüſtung möglich iſt, muſs weniger Senkung aufweiſen und muſs im allgemeinen, weil die Annäherung an einen vollwandigen Bogen, abgeſehen davon, daſs derſelbe mehr oder weniger elaſtiſch iſt, in höherem Maſse erfolgt, in ſeiner Standfähigkeit eine Verbeſſerung erfahren. Wenngleich nun im Hochbauweſen in den meiſten Fällen das Entfernen der Wölbgerüſte in möglichſt kurzer Zeit wird angeſtrebt werden müſſen, da ſchnelles Vorwärtskommen im Bau oft angezeigt erſcheint, ſo möge unter Berückſichtigung aller Einflüſſe, welche, wie feuchte Luft, Windzug u. ſ. ſ., die Erhärtung der Mörtelbänder zurückhalten oder beſchleunigen können, doch darauf Bedacht genommen werden, ein zu fruhzeitiges Ausrüſten der Gewölbe zu vermeiden. Wenngleich nun eine geraume Zeit verflieſsen muſs, bevor alle Mörtelbänder, die in ihren Rändern früher erhärten, als in ihrer Mitte, eine nahezu gleiche Preſsbarkeit und nahezu gleiche Bindefähigkeit erhalten, ſo kann man als Regel gelten laſſen, kleine Gewölbe erſt etwa nach 2 bis 3 Tagen, groſse Gewölbe nach 4 bis 6 Tagen und Gewölbe bis etwa 8 m Spannweite erſt nach 8 Tagen auszurüſten. Noch gröſsere Gewölbe laſſe man ſo lange als möglich unausgerüſtet. Bei geringer Fugenſtärke von 1 cm und gut und raſch bindendem Mörtel kann die Zeit bis zur vorſichtig vorzunehmenden Ausrüſtung herabgeſetzt werden.

Bei Quadergewölben tritt, wie ſchon fruher erwähnt, die Mörtelung mehr in den Hintergrund. Demnach können ſolche Gewölbe das ſofortige Ausrüſten nach ihrer Vollendung ſchon leichter ertragen.

In jedem Falle ist das Ausrüsten der Gewölbe in ruhiger, vorsichtiger Weise vorzunehmen, damit eine Schädigung sowohl des Gewölbes, wie auch der Gerüstteile vermieden wird.

Im allgemeinen zeigt ein jedes Gewölbe nach der Ausrüstung eine mehr oder weniger bemerkbare Senkung. Je sorgfältiger die Ausführung, je besser das benutzte Material war, um so geringer tritt solche Senkung auf.

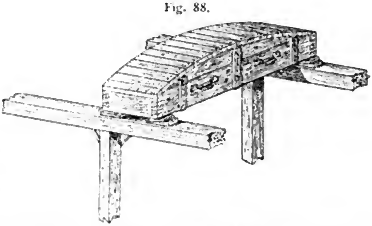
40. Senkung. Die Angaben über das mutmaßliche Senken der Gewölbe sind von vornherein im höchsten Maße ungenau, so daß dieselben besser unterbleiben.

Das über die Rüstung bei Tonnengewölben Gesagte findet im wesentlichen bei allen solchen Gewölben oder besonderen Gewölbteilen Anwendung, die nicht eine sog. Einwölbung aus freier Hand zulassen. Letzteres ist bei Gewölben mit sphärischen oder sphäroidischen Laibungsflächen der Fall. Bei diesen tritt dann die Unterstützung durch Lehrgerüste für die Einwölbung entweder gar nicht oder in bedeutender Einschränkung ein.

41. Rutschbogen. Bei Gewölben von kleinerer Spannweite, aber verhältnismäßig bedeutender Länge wird unter Umständen auch eine Vereinfachung und billigere Herstellung des gesamten Lehrgerüstes durch Anwendung eines sog. Rutschbogens oder Schlittens erzielt.

Unter einem Rutschbogen (Fig. 88) versteht man einen kurzen, seitlich lotrecht, oben nach der Wölbungsform geschlossenen, unten aber offenen, hölzernen Kasten, welcher auf den stützenden Rahmen oder Holmen des Unterstützungsgerüstes nach und nach dann weiter vorgerückt werden kann, sobald über dem Rutschbogen ein kurzes Stück des Gewölbes ausgeführt ist. Selbstverständlich ist die richtige Aufstellung und das ruhige Lösen solcher Rutschbogen mit Hilfe von Doppelkeilen zu bewirken.

Fig. 88.



Damit die einzelnen Zonen, welche in ihrer Breite der Länge des Schlittens entsprechen, bei dem ganzen Gewölbe im Verband bleiben, ist die Stirn jeder Zone, die für sich im Gewölbeverband gemauert wird, auf Verzahnung zu ordnen. Die Länge des Schlittens darf höchstens 80 cm betragen, weil bei größerer Länge desselben die Ausführung der Wölbung für die vor dem Rutschbogen stehenden Maurer und auch das Vorrücken des Rutschbogens unbequem wird.

Da nach der Vollendung jeder Zone bei der Anwendung des Rutschbogens die sofortige Ausrüstung derselben eintreten muß, so ist die Einwölbung sehr sorgfältig, unter Benutzung eines möglichst schnell bindenden und erhärtenden Mörtels, auszuführen.

42. Ausführung nebeneinander gelegener Gewölbe. Liegen zwei oder mehrere Tonnengewölbe, bezw. Gewölbe überhaupt mit gemeinschaftlichen Widerlagern, mögen dieselben als Mauerwerkskörper, als Bogenstellungen oder als besondere eiserne Träger konstruiert sein, in Reihen oder sog. Jochen mit ihren Achsen nebeneinander, so ist zu beachten, daß diese Zwischenwiderlager an sich in den seltensten Fällen eine solche Stärke erhalten, um dem

einſeitigen Schube mit Sicherheit Widerſtand leiſten zu können. Zur Vermeidung der Verſchiebungen dieſer Zwiſchenkonſtruktionen und zur Verhinderung des damit leicht eingeleiteten Einſturzes der Gewölbe iſt es immer am zweckmäſsigſten, die ſämtlichen Gewölbejoche mit den nötigen Wölbegerüſten vollſtändig zu verſehen und die Einwölbung in allen Jochen gleichzeitig, gleichliegend und gleichmäſsig fortſchreitend vorzunehmen. Kann man der gröſseren Koſten wegen eine ſolche vollſtändige Herrichtung der Lehrgerüſte für alle Joche nicht ausführen, ſo wird erſt nur für ein Joch entweder das ganze Gewölbe oder eine gewiſſe Länge desſelben mit dem notwendigen Lehrgerüſte verſehen und eingewölbt, dann das angrenzende Joch in gleicher Weiſe in Angriff genommen und ſo bis zur Vollendung der ganzen Anlage fortgefahren. In ſolchen Fällen iſt aber die gründliche und kräftige Abſteifung der Zwiſchenwiderlager der nicht mit Lehrgerüſten verſehenen Joche oder Abteilungen derſelben unbedingt erforderlich, da bei Vernachläſſigung dieſer Forderung leicht die Gefahr des Einſtürzens der fertigen Gewölbteile eintreten kann.

43. Tonnengewölbe aus Backſteinen.

Die Ausführung der geraden Tonnengewölbe aus Backſtein erfordert in erſter Linie die Berückſichtigung eines richtigen Mauerverbandes in den einzelnen Schichten und eine beſtimmte Einteilung der Wölbſchichten im Stirnſchnitte des Gewölbes, wonach ſtets eine ungerade Anzahl gleich groſser Abſtände für die einzelnen Wölbſcharen entſtehen ſoll. Jede Wölbſchicht erſcheint keilförmig; die Lagerfugen ſtehen ſenkrecht zur Wölblinie, ſelten rechtwinkelig zu einer beſtimmten Bedingungen gemäſs konſtruierten Mittellinie des Druckes.

Für den Mauerverband der Wölbſchichten gelten die für den Steinverband der Backſteinpfeiler mit rechteckiger Grundfläche gegebenen allgemeinen Regeln, wonach meiſtens zwei verſchieden angeordnete, nebeneinander liegende Wölbſchichten im Verbandwechſel auftreten. In Fig. 89 ſind für ein Stück eines $1\frac{1}{2}$ Stein ſtarken

Fig. 89.

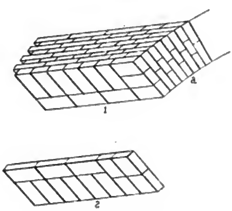
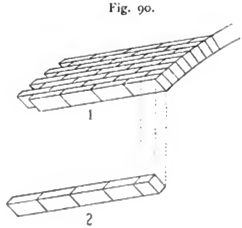


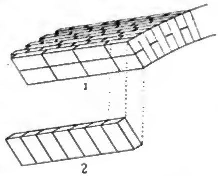
Fig. 90.



Tonnengewölbes die Verbände in den Schichten *1* und *2* dargeſtellt, wobei namentlich der Anfang der Wölbſchichten an der Stirnmauer des Gewölbes durch regelrechtes Einfügen von Dreiviertelſteinen zu beachten iſt. Die Stoſsfugen in Schnitten parallel zur Stirn ſind innerhalb des Gewölbkörpers *a* im Verbandwechſel ſtehende, konzentriſch zur Wölblinie laufende Bänder, während dieſelben auf der Laibungs- und Rückenfläche im Verbandwechſel mit der Stirnlinie gleichlaufend ſind. Dieſe Einwölbungsart wird häufig als »auf Kuf gewölbt« bezeichnet. Bei einem nur $\frac{1}{2}$ Stein ſtarken, auf Kuf gemauerten Tonnengewölbe ſind alle Wölbſcharen Läuferſchichten, deren Stoſsfugen gegenſeitig um $\frac{1}{2}$ Steinlänge im Verbandwechſel ſtehen

(Fig. 90), während bei *1* ftarken Tonnengewölben die nebeneinander liegenden Wölbfchichten nach Fig. 91 angeordnet werden.

Fig. 91.

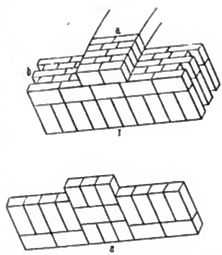


Bei Tonnengewölben, deren Stärke über ½ Steinlänge beträgt, wird zur Erzielung keilförmiger Wölbfcharen in den meiften Fällen das Zuhauen der Backfteine erforderlich. Hierbei ift auf der Rückenlinie des Gewölbes die Stärke der Wölbfchicht der Backfteindicke gleich zu laffen, fo dafs die Zufchärfung der Steine nach der Laibungsfläche gerichtet ift. Wollte man fog. Lochfteine zum Einwölben verwenden, fo ift das Zuhauen derfelben mifslich. Durchaus verwerflich ift die Anordnung ftark keilförmig genommener Mörtelbänder als Lagerfugen, welche dann an der Laibungsfläche dünn, an der Rückenfläche jedoch oft unverhältnismäfsig dick auftreten, um hierdurch das Zuhauen der Wölbfteine zu umgehen. Am beften ift die Verwendung fertig gebrannter keilförmiger Backfteine, deren Geftaltung von vornherein dem auszufuhrenden Tonnengewölbe entfprechend gebildet wurde.

Bei fehr ftarken Tonnengewölben ift die in Art. 30 (S. 78) erwähnte und näher befprochene Einwölbung, beftehend aus einzelnen Schalen oder Ringen, geeignet, um das Zuhauen der Steine aller Wölbfchichten zu vermeiden.

Für weniger ftarke oder auch für fehr lange, fonft felbft ftärker bemeffene Tonnengewölbe aus Backftein ift das Anbringen von Verftärkungsrippen oder Gurten *a* (Fig. 92), welche bei kleineren fchwächeren Gewölben in Abftänden von 1,50 bis 2,00 m, bei ftärkeren Gewölben in Weiten von 3,00 bis 4,00 m wiederkehren und mit dem Gewölbkörper *b* nach der Anordnung der Schichten *1* und *2* im Verbande ftehen, zu empfehlen. Diefe Rippen können entweder an der Laibungsfläche oder an der Rückenfläche vortreten. Im erfteren Falle ift beim Aufftellen der Rüftbogen des Gewölbes aber für diefe Gurte eine befondere Einrüftung notwendig, was, als weniger bequem, im letzteren Falle vermieden wird.

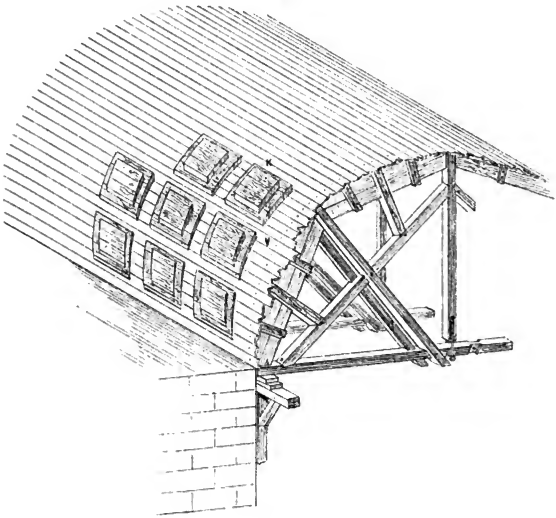
Fig. 92.



Bei fchwächeren Gewölben treten diefe Rippen als wirkliche Gewölbverftärkungen und zuweilen als Träger von Unterlagen der über dem Gewölbe befindlichen, nur leicht zu belaftenden Fufsböden auf, während bei gröfseren, langen Tonnengewölben diefe Rippen, wenn diefelben unten an der Laibungsfläche vorfpringen, eine dem Auge angenehme Gliederung der Gewölbfläche bewirken und bei langen Gewölben mit wagrechter Scheitellinie den Eindruck verwifchen, als ob diefe Scheitellinie fich nach unten gefenkt hätte. Hier möge bemerkt werden, dafs die in vielen Lehrbüchern aufgenommene und häufig wiederkehrende Angabe, wonach Tonnengewölbe bis zu 4 m Spannweite, welche keine weitere Belaftung, als höchftens diejenige der Fufsböden gewöhnlicher Wohnräume aufzunehmen haben, nur ½ Stein Stärke, bei gröfserer Spannweite Verftärkungsrippen von 1 Stein Breite und Höhe in Entfernungen von 1,50 bis 2,00, bezw. 2,50 m und erft bei 6 m Spannweite 1 Stein Stärke nebft Verftärkungsrippen von 1½ Stein Höhe und Breite erhalten follen,

mit gröfster Vorficht zu betrachten ift. Bei derart fchwach ausgeführten Tonnengewölben müffen neben ausgezeichneter Arbeit vorzügliches Steinmaterial und vortrefflichfter Mörtel zur Geltung kommen, und dennoch treten in diefen Tonnengewölben fchon bei 4 m Spannweite leicht Verdrückungen, felbft bei guter Ausmauerung der Zwickel, auf. Die Weite von 4 m wird beffer auf höchftens 3 m befchränkt. Auch ift zu berückfichtigen, dafs, wenn überhaupt über dem Gewölbe ein Fufsboden hergerichtet ift, derfelbe unter Umftänden mit weit ftärkerer Belaftung verfehen wird, als folche bei der Bezeichnung »Belaftung gewöhnlicher

Fig. 93.



Wohnräume« urfprünglich angenommen war. Die Deckenkonftruktion foll aber in jedem Falle bei der möglichft ungünftigften Beanfpruchung ftandfähig fein, und hiernach ift, wie früher gezeigt, die ftatifche Unterfuchung zu führen und die Gewölbftärke fowohl für die Gurte, wie für das Gewölbe felbft zu beftimmen.

Wird ein Backfteingewölbe nach der Widerlagsfuge hin verftärkt, fo foll diefe Verftärkung vom Scheitel bis zum Gewölbfufse ftetig und ohne fchroffe Abfätze erfolgen, felbft wenn hierbei ein mäfsiges Verhauen und Kürzen der Wölbfteine an der Rückenfläche des Gewölbes vorzunehmen ift; denn hierdurch wird ein günftigerer Verlauf der Mittellinie des Druckes erzielt.

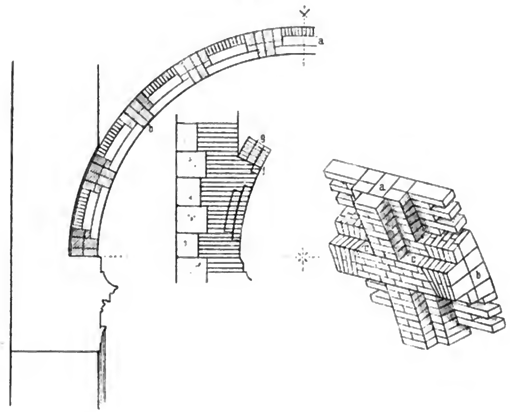
Dem Einwölben mit Backftein »auf Kuf« fteht die allerdings mehr bei flach-

bogigen Gewölben angewandte Verbandart »auf Schwalbenfchwanz« oder »auf Stich« gegenüber. Diefe foll bei den Kappengewölben näher befprochen werden.

44. Kaffettierte Tonnengewölbe. Um die Laibungsfläche eines Tonnengewölbes, abgefehen von einem Schmuck durch Bemalung, fchon in der Konftruktion felbft architektonifch zu gliedern und reicher zu geftalten, verfieht man das Gewölbe mit künftlerifch geformten und regelrecht geordneten, durch ftaffelartig angelegte Umrahmungen begrenzte Füllungen, Vertiefungen oder mit fog. Kaffetten.

Bei der Ausfuhrung derartiger kaffettierter Tonnengewölbe werden nach Fig. 93 auf der vollftändigen Verfchalung *V* der Wölbbogen, der Kaffettenanordnung entfprechend, Holzkaften *K* befeftigt, fo dafs hierdurch die Grundlage für die Mauerung des Gewölbes gefchaffen ift. Diefe Holzkaften find nach oben fchwach verjüngt, alfo als mäfsig abgeftumpfte Pyramiden, zu bilden, damit beim Löfen des Wölb-

Fig. 94.



geruftes das leichte Nachfolgen der Kaffettenkaften und kein Hängenbleiben derfelben im Gewölbe ftattfinden kann. In fehr zweckmäfsiger Weife können nach einem von *Moller* angegebenen Verfahren nach Fig. 94 die Querrippen *a* der Kaffetten als Stücke von Tonnengewölben, die Längsrippen *b* als Beftandteile des Gewölbes in der Anordnung eines die Querrippen verfpannenden fcheitrechten Bogens ausgeführt werden, wobei das Zwifchenftuck *c* ordnungsmäfsige Widerlagsflächen zu bieten hat. Der obere Abfchlufs der Kaffetten kann dabei in der Anordnung entweder derjenigen eines $^1/_2$ Stein ftarken Tonnengewölbes oder eines $^1/_2$ Stein ftarken fcheitrechten Gewölbes entfprechen. In Fig. 94 ift die erfte Einwölbungsart beibehalten.

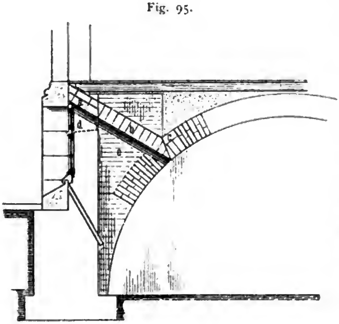
Soll ein kaffettiertes Tonnengewölbe bis zu einer um etwa 60 Grad zum Scheitellote geneigten Fuge *f*, welche dann zweckmäfsig mit der unteren Fugen-

richtung der Kaffette *g* zufammenfällt, ein wagrecht vorgemauertes Widerlager erhalten, fo ift, wie Fig. 94 zeigt, auch die tieffte Kaffette in wagrechter Schichtenmauerung auszuführen.

Da bei Tonnengewölben an und für fich die Pfeilhöhe ein beträchtliches Mafs erreicht, alfo die Konftruktionshöhe, einfchl. der Gewölbftärke und der Höhe bis zur Oberkante des darüber befindlichen Fufsbodens, ziemlich grofs wird, da ferner die Stirnmauern der Tonnengewölbe häufig nicht für die Anlage von Oeffnungen zur Beleuchtung durch Tageslicht bei den mit Tonnengewölben zu überdeckenden Räumen benutzt werden können, fo find bei befchränkter Konftruktionshöhe derartige Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern des Gewölbes anzubringen. Diefe Lichtöffnungen find bei den meiften Anlagen in ihren oberen Begrenzungen weit über dem Gewölbefufs abzudecken. Für die Breite diefer Lichtöffnungen mufs im Tonnengewölbe freier Platz gefchaffen, alfo das Gewölbe felbft gleichfam an diefen Stellen ausgefchnitten werden. Nach der Annahme diefes Ausfchnittes würde aber für die Weite desfelben ein Widerlager des angrenzenden Gewölbteiles fehlen. Für diefes Widerlager ift ein felbftändiger Gewölbteil, der fog. Kranz *c* (Fig. 95), in das Hauptgewölbe einzufügen, und ferner ift zum oberen Abfchlufs der zwifchen dem Gewölbekranze und der Lichtöffnung *d* verbleibenden Oeffnung ein befonderes kleines Gewölbe, eine fog. Stichkappe *b*, welche in das Hauptgewölbe gefteckt wird, herzuftellen. Die an beiden Seiten der Oeffnung, dem fog. Ohr, zu bewirkende Abfchliefsung wird durch lotrecht aufgeführte, auf dem Hauptgewölbe ruhende, ½ bis 1 Stein ftarke Wangenmauern *e* erzielt. Gröfstenteils gehören diefe Wangen fchon der Hintermauerung der Gewölbe in den Zwickeln an und find dann, wenn diefe zu ⅓ bis ½ der Gewölbhöhe ausgeführte Hintermauerung die Oeffnung des Ohres noch nicht fchliefsen follte, ftets entfprechend höher zu führen. Ift, wie in Fig. 95 angenommen, auch der Mauerbogen *a* der inneren Laibung der Lichtöffnung geneigt anzulegen, fo folgt derfelbe in feiner Neigung meiftens der Neigung der Stichkappe *b*.

45. Tonnengewölbe mit Stichkappen.

Fig. 95.



Schon in Art. 14 (S. 21) ift der Stichkappen bei Tonnengewölben gedacht worden.

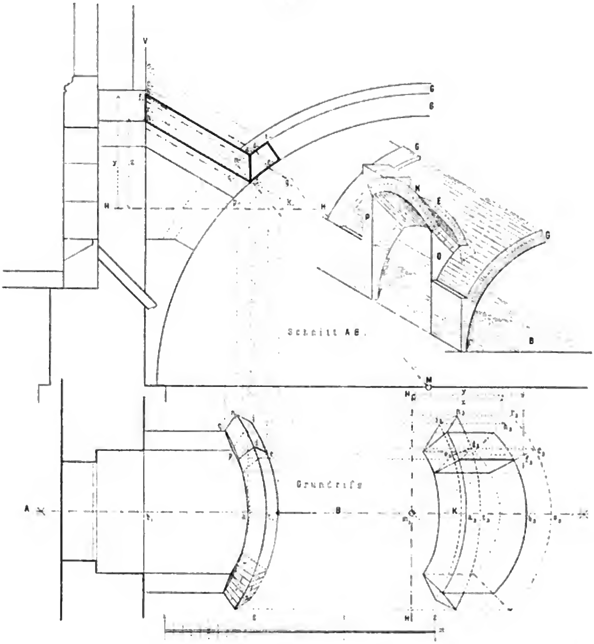
Hinfichtlich der Ausführung diefer Stichkappen ift zu bemerken, dafs man Stichkappen, deren Laibungen einer Cylinder-, Kegel- oder Kugelfläche angehören, voneinander zu unterfcheiden hat. Vorzugsweife werden die cylindrifchen oder kegelförmigen, feltener die kugelförmigen Stichkappen in Anwendung gebracht. Bei den erften beiden kann die Achfe der zugehörigen Cylinder- oder Kegelflächen eine wagrechte oder geneigte, nach unten oder nach oben gerichtete gerade Linie fein. Bei kugelförmigen, bezw. Kugelftichkappen liegt der gröfste Kreis der Kappenfläche

meiſtens und auch zweckmäſsig tiefer, als der tiefſte Punkt der inneren Kranzlinie an der Laibung des Hauptgewölbes.

46. Cylindriſche Stichkappen. In Fig. 96 iſt die Ausmittelung einer cylindriſchen Stichkappe mit geneigter Achſe nebſt dem Gewölbekranze, ſowie ein Bild der ganzen Anordnung gegeben.

Im Bilde ſind *B* die Kämpferebene des Tonnengewölbes, *G* das Gewölbe, *K* die cylindriſche, nach dem Gewölbe geneigte Stichkappe und *E* der Kranz, welcher das Widerlager für das Gewölbe der Breite

Fig. 96.



der Stichkappe entſprechend bildet; gegen denſelben lehnt ſich die Stichkappe. *O* iſt das Ohr und *P* die Wange der Stichkappe; G_1 iſt ein Verſtärkungsgurt des Hauptgewölbes.

Die Leitlinie der Stichkappe iſt ein Kreisbogen mit dem Halbmeſſer *z*, deſſen Mittelpunkt in der wagrechten Ebene *HH* und der lotrechten Ebene *V* liegt. Derſelbe iſt in der Hilfsfigur *K* mit dem Halbmeſſer $m_3 d_3 = z$ geſchlagen. Die Rückenlinie iſt der mit dem Halbmeſſer $m_3 b_3 = y$ beſchriebene, durch b_3 gehende konzentriſche Kreisbogen. Die Neigung der Cylinderachſe der Stichkappe iſt durch die dieſer Achſe parallele Erzeugende $h_{,,} i_{,,}$ gegeben.

Setzt man im Schnitte *AB*, nachdem $h_{,,} a_{,,}$ parallel zu $h_{,,} i_{,,}$ bis zur Rückenlinie des Gewölbes gezogen iſt, die obere Stärke $a_{,,} t_{,,}$ des Kranzes ſo feſt, daſs die untere in der Wölbfläche liegende Stärke

desfelben etwa 1 Stein, bei kleineren Gewölben ½ Stein beträgt, oder umgekehrt, dafs bei ftark nach unten gerichteter Stichkappe $a_{,,} t_{,,}$ felbft gleich diefen Abmeffungen genommen wird, fo ift durch die von $t_{,,}$ nach M geführte Gerade und durch die Linien $t'' a''$ und $a'' i''$, fowie ein Stück der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes, gleich der unteren Stärke des Kranzes, begrenzte Figur der in der fenkrechten Ebene AB liegende Querfchnitt des Kranzes.

Legt man durch t'' eine Erzeugende $t'' s''$ parallel zur Cylinderachfe, bezw. zu $h_{,,} i_{,,}$, fo gehört diefelbe einem ideellen Cylinder an, deffen Leitlinie der um m_3 in der Hilfsfigur befchriebene Kreisbogen mit dem Halbmeffer $m_3 s_3$ ift, wobei s_3 hier fo hoch über HH liegt, wie die Lage von $s_{,,}$ im Schnitte AB über HH ergeben hat.

Sind fomit für die Stichkappe und für den Kranz die nötigen Cylinderflächen beftimmt, fo laffen fich mit Hilfe der darftellenden Geometrie auf leichte Weife auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege die fämtlichen Begrenzungslinien des Kranzes, welche als Durchfchnittslinien der einzelnen cylindrifchen Flächen mit den unteren und oberen Flächen des Tonnengewölbes auftreten, in den drei hier gewählten Projektionen beftimmen. Die von $p_,$ und $i_,$ auslaufenden Kurven gehören der inneren Wölbfläche, die von $q_,$ und $n_,$ fortziehenden Begrenzungslinien gehören der Rückenfläche des Hauptgewölbes an.

Ebenfo läfst fich mittels der Projektion der Erzeugenden, welche durch $f_{,,}$, bezw. f_3 und $c_{,,}$, bezw. c_3 gelegt find, eine Fuge $d_, c_,$ des Kranzes und danach die in der Figur für $d_, c_,$ angedeutete Fugenfläche beftimmen, wobei nur zu beachten, dafs in der Hilfsfigur d_3 auf der durch n_3 gehenden Durchdringungslinie der Rückenlinie der Stichkappe und der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegt, während c_3 der Durchfchnittspunkt der durch f_3, bezw. $f_{,,}$ gehenden Erzeugenden mit der inneren Wölblinie ift und fich auf der durch $i_,$ laufenden Kranzlinie befindet. Die Lagerfugenflächen des Kranzes gehören lotrechten Ebenen an, wofür Spuren in der Hilfsfigur als $m_3 r_3$, $m_3 c_3$ angegeben find.

Der Kranz an fich wird aus Backftein unter Wahrung der fo beftimmten Lagerfugenflächen auf Verband gemauert und gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe, wobei auf der Schalung die inneren, durch p_1 und i_1 gehenden Durchdringungslinien vorgezeichnet find, ausgeführt. Die Wangen für die Stichkappen und danach die Stichkappen felbft können nach Vollendung des Hauptgewölbes oder gleichzeitig mit demfelben hergerichtet werden.

Für die Stichkappen wird in den meiften Fällen eine Verfchalung, welche fich unmittelbar auf die Schalung des Hauptgewölbes legt und die an ihrer Schmieglinie der inneren Durchdringungslinie p_1 folgt, angebracht. Bei untergeordneten Anlagen wird ftatt folcher Schalung fur die Laibungsfläche der Stichkappe auch hin und wieder ein oben entfprechend abgeformter, zwifchen den aufgeführten Wangen liegender Erdhügel, aus thonigem Sande beftehend, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht und diefer als Lehre für die Stichkappe benutzt.

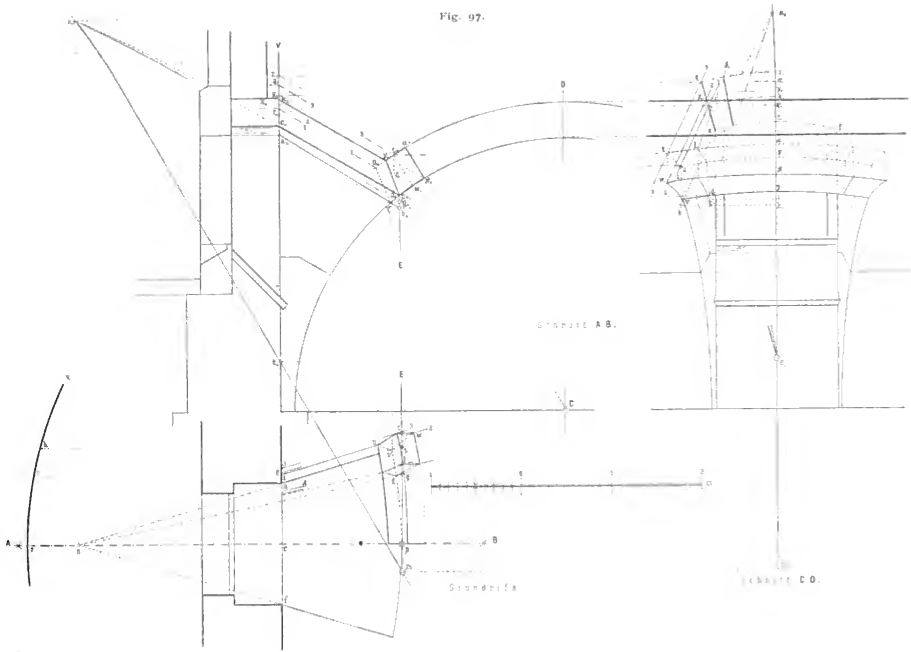
Bei den kegelförmigen Stichkappen find gleichfalls zuerft die Durchfchnittslinien der Laibungs-, bezw. Rückenflächen des Hauptgewölbes mit den entfprechenden Kegelflächen der Stichkappe zu ermitteln. 47. Kegelförmige Stichkappen.

In Fig. 97 ift die Zeichnung für eine Stichkappe mit anfteigender Kegelfläche gegeben.

Die Achfe der inneren Kegelfläche ift im lotrechten Schnitte AB die Gerade $s_{,,} m$. Ihre Grundrifsprojektion ift sp; ihre Projektion im Schnitte CD ift $s_, m_,$. Das weitere Feftlegen diefer Kegelfläche ift durch die Beftimmung erfolgt, dafs die höchfte Seitenlinie derfelben durch den höchften Punkt $c_,$ des inneren Laibungsbogens $a_, c_, f_,$ der Fenfteröffnung gehen foll. Diefer Bogen befitzt nach der Darftellung im Schnitte CD den auf der Kegelachfe gelegenen Punkt $e_,$ als Mittelpunkt; die Projektion diefes Punktes in der Ebene V des Schnittes AB ift $e_{,,}$.

Betrachtet man diefen Bogen $a_, c_, f_,$ als Teil eines in der lotrechten Ebene V gelegenen Kreifes, fo erfieht man, dafs die für die Laibungsfläche der Stichkappe benutzte Kegelfläche einem fchiefen Kegel angehört, bei welchem die Achfe $s_{,,} m$ mit der in der Ebene V enthaltenen Geraden $Ve_{,,}$ den Winkel $Ve_{,,} s_{,,}$ einfchliefst. Jede parallel mit der Ebene V geführte Ebene fchneidet die Kegelfläche nach einem Kreife. Die höchfte Erzeugende ift im Schnitte AB als die Gerade $s_{,,} c_{,,} p_{,,}$ eingetragen. Der Punkt $p_{,,}$ gehört der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes an, ift alfo ein gemeinfchaftlicher Punkt des Hauptgewölbes und der inneren Laibungsfläche der Stichkappe.

Fig. 97.



Eine durch $p_{,,}$ geführte lotrechte Ebene E liefert als Kegelſchnitt einen Kreis mit dem Halbmeſſer $m p_{,,}$. Ein Stück dieſes Kreiſes iſt im Grundriſs AB als Bogen K niedergelegt. Der Mittelpunkt desſelben iſt die wagrechte Projektion des Punktes m, alſo der Punkt p, und hiernach iſt $p o = p_{,,} m$ zu nehmen. Die für die Stichkappe in Frage kommende tiefſte Seitenlinie des Kegels iſt als Strahl $s b$ im Grundriſs gekennzeichnet. Derſelbe muſs durch den tiefſten Punkt a, der Bogenlinie $a_{,} c_{,} f_{,}$, der Fenſteröffnung, gehen. Da der Punkt a im Grundriſs dieſem tiefſten Punkte a, zukommt, ſo iſt die Lage der bezeichneten tiefſten Erzeugenden in ihrem Beginne durch $s a$ beſtimmt. Dieſe Erzeugende trifft, gehörig erweitert, den in der Ebene EE gelegenen Kegelkreis im Punkte b. Die Ordinate dieſes Punktes iſt mit Hilfe des Kreiſes K als $b h$ auszumeſſen. Trägt man dieſe Länge $b h$ von m als $m b_{,,}$ in der Lotrechten EE ab, ſo iſt $s_{,,} b_{,,}$ die Aufriſsprojektion der geſuchten Erzeugenden. Dieſelbe durchſtöſst die Laibungsfläche des Tonnengewölbes in einem Punkte, deſſen Projektionen $v_{,,}$ und v auf den entſprechenden Kegelerzeugenden, deren Projektionen in $s_{,,} b_{,,}$ und $s b$ ſind, nunmehr leicht gefunden werden können. Durch $v_{,,} p_{,,}$ und $v p$ zieht die innere tiefſte Durchdringungslinie der Kegelfläche der Stichkappe mit der cylindriſchen Fläche des Hauptgewölbes.

Um noch irgend einen Punkt dieſer Durchdringungslinie in ſeinen Projektionen zu erhalten, iſt im Grundriſs die beliebig genommene Kegelerzeugende $s g$ gezogen, die Ordinate $g i$ des Endpunktes dieſer Seitenlinie im Kreiſe K von m nach $g_{,,}$ im Schnitte AB abgetragen und die Gerade $s_{,,} g_{,,}$ geführt. Dieſelbe liefert den Durchſtoſspunkt $d_{,,}$ im Aufriſs, wonach d im Grundriſs auf $s g$ und $d_{,}$ im Schnitte CD beſtimmt werden kann.

Die Rückenfläche der Stichkappe gehört gleichfalls einem ſchiefen Kegel an, deſſen Achſe mit der Achſe des Kegels der inneren Laibungsfläche zuſammenfällt und deſſen Leitlinie ein in der Ebene V gelegener Kreis iſt, welcher dem Grundkreiſe des erſten Kreiſes konzentriſch iſt. Nimmt man die rechtwinkelig auf $c_{,,} p_{,,}$ abzuſetzende Stärke der Stichkappe als Abſtand der beiden parallelen Geraden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB z. B. gleich 1 Steinlänge an, ſo iſt $c_{,,} k_{,,}$ der Halbmeſſer des Grundkreiſes für den Kegel der Rückenfläche der Stichkappe. Im Schnitte CD iſt der mit dem Halbmeſſer $c_{,} k_{,} = c_{,,} k_{,,}$ um $c_{,}$ beſchriebene Bogen $k_{,} r_{,}$ ein Stück dieſes Grundkreiſes. Dasſelbe iſt durch eine den Punkt $a_{,}$ und die Kegelachſe enthaltene Ebene begrenzt, welche die Ebene V in einer Geraden ſchneidet, die im Punkte $a_{,}$ ſenkrecht zum Bogen $a_{,} c_{,} f_{,}$ ſteht. Der Punkt $r_{,}$ iſt ein Grenzpunkt. Jede durch die beiden Kegelflächen gemeinſchaftlich angehörende Achſe geführte Ebene ſchneidet dieſelben in Seitenlinien, welche vermöge der konzentriſchen Grundkreiſe und der Annahme des Parallelismus der höchſten Erzeugenden $c_{,,} p_{,,}$ und $k_{,,} \gamma_{,,}$ untereinander gleichfalls parallel ſind.

Verbindet man im Schnitte AB die Punkte $\gamma_{,,}$ und $p_{,,}$ durch eine gerade Linie, nimmt man $p_{,,} \beta_{,,}$ oder, bei ſtark geneigten Stichkappen, $\gamma_{,,} \alpha_{,,}$ gleich der zu wählenden Breite des Kranzes, z. B. bei Backſteingewölben je nach der gröſseren oder kleineren Spannweite der zuſammentretenden Gewölbe zu 1, bezw. ½ Steinlänge an, zieht man darauf $\beta_{,,} \alpha_{,,}$ bezw. $\alpha_{,,} \beta_{,,}$ ſenkrecht zur Wölblinie des Hauptgewölbes, ſo iſt $\alpha_{,,} \beta_{,,} p_{,,} \gamma_{,,}$ im Schnitte AB der lotrechte Schnitt des Kranzes.

Die Punkte $\beta_{,,}$ und $\alpha_{,,}$ ſind wiederum als Punkte weiterer Kegelflächen anzuſehen, deren Achſen mit der urſprünglichen Kegelachſe zuſammenfallen und welche ebenſo beſtimmt werden können, wie ſolches bei der Kegelfläche des Rückens der Stichkappe gezeigt iſt. Zieht man $\beta_{,,} y_{,,}$, bezw. $\alpha_{,,} z_{,,}$ parallel zu $c_{,,} p_{,,}$, ſo ſind $c_{,,} y_{,,}$, bezw. $c_{,,} z_{,,}$ die Halbmeſſer der zugehörigen Grundkreiſe. Dieſelben ſind, ſoweit die erweiterte Normale $a r$ im Schnitte CD ſolches bedingt, ſtückweiſe als $y_{,} x_{,}$, bezw. $z_{,} q_{,}$ gezeichnet. Nach dieſen Ermittelungen läſst ſich nun die Anſchluſsfläche des Kranzes im Hauptgewölbe näher angeben.

Die Projektionen dieſer Fläche ſind im Grundriſs als $u v w t$, im Schnitte AB als $u_{,,} v_{,,} w_{,,} t_{,,}$ und im Schnitte CD als $u_{,} v_{,} w_{,} t_{,}$ dargeſtellt. Von dieſen Eckpunkten der Fläche ſind bereits v, $v_{,,}$ früher beſtimmt.

Um die Punkte u, $u_{,,}$, $u_{,}$ zu erhalten, iſt das Folgende zu bemerken. Nach dem Schnitte CD gehört der Punkt $u_{,}$ der durch $b_{,} a_{,} r_{,}$ gehenden Ebene und ferner einer durch $r_{,}$ gehenden Erzeugenden $1 1$ an, welche, wie oben bemerkt, zur Seitenlinie $s_{,} a_{,}$ des urſprünglichen Kegels der Laibungsfläche der Stichkappe parallel ſein muſs. Im Schnitte AB entſpricht dem Punkte $r_{,}$ der Punkt $r_{,,}$. Zieht man $r_{,,} u_{,,}$ parallel zu $s_{,,} a_{,,}$, ſo iſt $u_{,,}$ auf der Rückenlinie des Hauptgewölbes gefunden; führt man im Schnitte CD die Gerade $1 1$ parallel zu $s_{,} a_{,}$, ſo liegt $u_{,}$, entſprechend $u_{,,}$, auf dieſer Geraden. Die rechtwinkelige Entfernung des Punktes $r_{,}$ vom Lote $m_{,} c_{,}$ iſt gleich $\rho_{,} r_{,}$. Trägt man im Grundriſs die Strecke $c 1 = \rho_{,} r_{,}$ ab und zieht man hier durch 1 parallel zu $s a$ eine Gerade, ſo iſt auf dieſer der Punkt u, entſprechend $u_{,,}$, zu finden. In gleicher Weiſe iſt für die übrigen Punkte zu verfahren. Die Punkte $t_{,}$ $t_{,,}$ t gehören den Erzeugenden $2 2$ an, für welche zunächſt der Punkt $x_{,}$ im Schnitte CD maſsgebend wird. Die Punkte $w_{,}$ $w_{,,}$ w kommen den Erzeugenden $3 3$ zu, für welche alsdann der Punkt $q_{,}$ im Schnitte CD grundlegend wird. Da alle Punkte der zu beſtimmenden Fläche in der durch die Kegelachſe gehenden

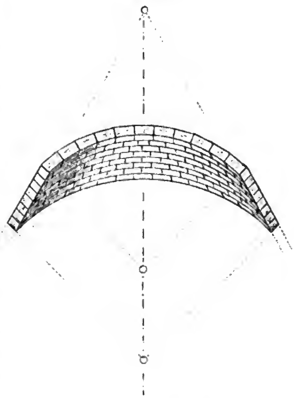
Ebene, welche die Gerade $a_{,}r_{,}$ enthält, liegen müssen, so sind die Erzeugenden *2 2*, bezw. *3 3* parallel den zugehörigen Seitenlinien $s_{,}a_{,,}$ bezw. $s_{,,}a_{,,,}$ bezw. sa.

Für eine beliebige Lagerfugenfläche, welche im Schnitte CD durch $d_{,}l_{,}$ bezeichnet ist, gilt dieselbe Art der Bestimmung.

Führt man im Schnitte CD eine beliebige der Ebene $a_{,}q_{,}$ benachbarte Ebene durch die Kegelachse, so zieht durch den betreffenden Schnittpunkt dieser Ebene mit dem Kreisbogen $a_{,}c_{,}f_{,}$ eine Erzeugende $s_{,}g_{,}$, zu welcher dann alle übrigen Erzeugenden, die für die Eckpunkte der Lagerfugenfläche in Betracht gezogen werden müssen, parallel zu legen sind. Für den Punkt $l_{,}$ ist also die Erzeugende δ_1 parallel zur Geraden $s_{,}g_{,}$. Für die übrigen Punkte der Lagerfugenfläche ist die Zeichnung nicht weiter durchgeführt, da das Nötige bei der Ansatzfläche des Kranzes mitgeteilt ist.

Die kegelförmigen Stichkappen sind vermöge ihrer Verbreiterung nach dem Hauptgewölbe zu für die Beleuchtung der mit solchen Decken versehenen Räume durch Tageslicht günstig. Ihre Einwölbung erfolgt bei Backsteingewölben zweckmäfsig auf Schwalbenschwanz oder nach dem sog. *Moller*'schen Verbande (Fig. 98), wobei die Lagerfugen in Ebenen parallel zur Stirn der Stichkappe liegen, weil bei der Einwölbung auf Kuf durch das Divergieren der Lagerfugenflächen in den meisten Fällen ein zu starkes Verhauen der Backsteine durch das Zuspitzen der Wölbsteine vom Kranze nach der Fensteröffnung hin eintreten müfste.

Fig. 98.



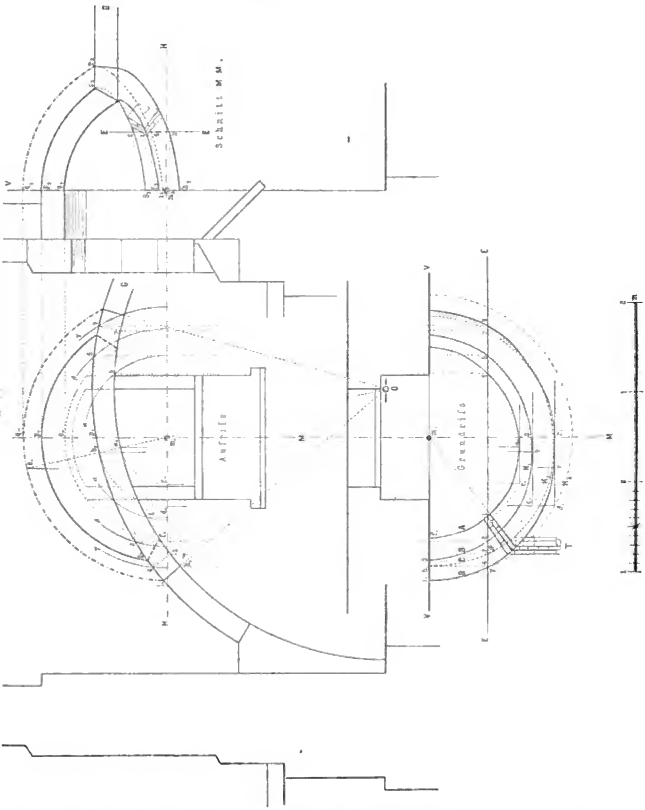
48 Kugelstichkappen.

Bei den Kugelstichkappen gehört die Laibungsfläche einem bestimmten Teile einer Kugelfläche an. Fig. 99 giebt die Anlage einer Kugelstichkappe an der Schildmauer eines Tonnengewölbes mit dem zugehörigen Kranze im Grundrifs, Aufrifs und in einem Meridionalschnitte MM. Die Ansatz- oder Widerlagsflächen des Kranzes müssen an den Stirnmauern liegen. Dies gilt auch für derartige cylindrische oder kegelförmige Stichkappen. Würde bei diesen Anlagen der Kranz sein Widerlager im Hauptgewölbe entfernt von der Schildmauer erhalten, so wären mehrere Schichten desselben ohne Widerlager; auch könnten die verbleibenden Seitenöffnungen der Stichkappe nicht durch Wagenmauern, welche auf den widerlagslosen Schichten ruhen müfsten, geschlossen werden. Unschön und nicht empfehlenswert ist ferner das allmähliche Emporziehen der Wölbscharen nach der Abschlufslinie einer in der Stirnmauer befindlichen Licht- oder Thüröffnung.

Bei der in Fig. 99 gegebenen Kugelstichkappe ist in erster Linie die Bestimmung des Kranzes von Bedeutung. Der Mittelpunkt der Kugel liegt in der Ebene der Stirnmauer. Die Kugelfläche der Stichkappe besitzt in ihrem gröfsten Kreise den durch $o_{,,}$ im Aufrifs geführten Abschlufsbogen einer Maueröffnung, dessen Mittelpunkt $m_{,,}$ gleichzeitig die lotrechte Projektion des Mittelpunktes der Kugel ist. Diesem entsprechen die Punkte $m_{,}$ bezw. m_3 im Grundrifs und im Schnitte MM. Die durch $m_{,}m_3$ gelegte wagrechte Ebene HH enthält ebenfalls den gröfsten Kreis der Kugel. Erweitert man den durch $o_{,,}$ gehenden Kreisbogen, so schneidet derselbe die innere Wölblinie des Hauptgewölbes im Punkte $f_{,,}$. Die wagrechte Projektion dieses Durchstofspunktes ist $f_{,}$ und die lotrechte Projektion desselben im Schnitte MM ist f_3.

Nimmt man im Aufrifs $o_{,,}p_{,,}$ gleich der Stärke der Kugelftichkappe, fo ift diefe in der Meridianebene VV gelegen, bezeichnet alfo die normale Stärke diefer Kappe. Der mit $m_{,,}p_{,,}$ und $m_{,,}$ gefchlagene Kreis trifft die Rückenlinie des Hauptgewölbes in $g_{,,,}$, wonach weiter $g_{,}$ im Grundrifs und g_3 im Schnitte

Fig. 99.



MM beftimmt werden können. Aufserdem ergeben die geraden Linien $f_{,}g_{,}$, $f_{,,}g_{,,}$, f_3g_3 eine Begrenzungslinie vom Anfatze des Kranzes.

Setzt man im Aufrifs $g_{,,}i_{,,}$ oder $f_{,,}h_{,,}$ als Stärke des Kranzes feft und zieht man $i_{,,}h_{,,}$ normal zur Wölblinie, hier alfo radial durch O, fo ergiebt fich in $f_{,,}g_{,,}i_{,,}h_{,,}$ die lotrechte Projektion der An-

ſatzfläche des Kranzes. Die Projektionen derſelben im Grundriſs und im Schnitt *MM* ſind danach leicht zu ermitteln.

In ganz gleicher Weiſe iſt die zweite Anſatzfläche bei *G* zu zeichnen.

Um für die Kranzlinie weitere Punkte, welche in Fig. 99 durchweg mit *1, 2, 3, 4* bezeichnet ſind, feſtzulegen, ſind die für die Punkte $o_{,,}$, $p_{,,}$ und $q_{,,}$ geltenden Halbmeſſer der ihnen zukommenden Kugelflächen benutzt, um im Grundriſs dieſe Kugelflächen zu kennzeichnen. Um $m_{,}$ iſt der Halbkreis K'_{1} mit dem Halbmeſſer $m_{,,}o_{,,}$, der Halbkreis K'_{2} mit dem Halbmeſſer $m_{,,}p_{,,}$ und endlich der Halbkreis K'_{3} mit dem Halbmeſſer $m_{,,}q_{,,}$ geſchlagen. Führt man eine beliebige lotrechte Ebene nach *EE* parallel zur Stirnebene *VV* durch die Kugelſtichkappe und das Hauptgewölbe, ſo erhält man im Grundriſs der Reihe nach die Schnittpunkte $\alpha\beta\gamma$ dieſer Ebene mit den angegebenen Kugelkreiſen K'_{1}, K'_{2}, K'_{3}.

Sucht man im Aufriſs in der Spur *HH* der wagrechten Mittelpunktsebene die Projektionen dieſer Punkte auf, ſo gehen durch dieſe Punkte die Kreiſe α, β, γ, welche offenbar die lotrechten Projektionen der Schnittlinien der einzelnen Kugelflächen mit der durch *EE* geführten Ebene ſind. Der Kreis α gehört der Laibungsfläche der Kugelſtichkappe an; derſelbe durchſtöſst die innere Wölblinie im Punkte *1*. Der Kreis β kommt der Rückenlinie der Stichkappe zu; ſein Durchſtoſspunkt mit der Rückenlinie des Hauptgewölbes liefert den Punkt *2*. Der Kreis γ dagegen iſt der äuſserſten oberen Begrenzungslinie des Kranzes angehörig; derſelbe ſchneidet die Rückenlinie des Gewölbes im Punkte *4*.

Zieht man endlich den Strahl *4 O*, ſo liefert derſelbe den Punkt *3*, welcher der äuſserſten unteren Begrenzungslinie des Kranzes zuzuweiſen iſt. Nachdem im Aufriſs die Punkte *1, 2, 3, 4* ermittelt ſind, können die entſprechenden Punkte im Grundriſs und im Schnitt *MM* in einfacher Weiſe beſtimmt werden. Durch dasſelbe Verfahren ſind auch die Punkte *5, 6, 7, 8* gefunden.

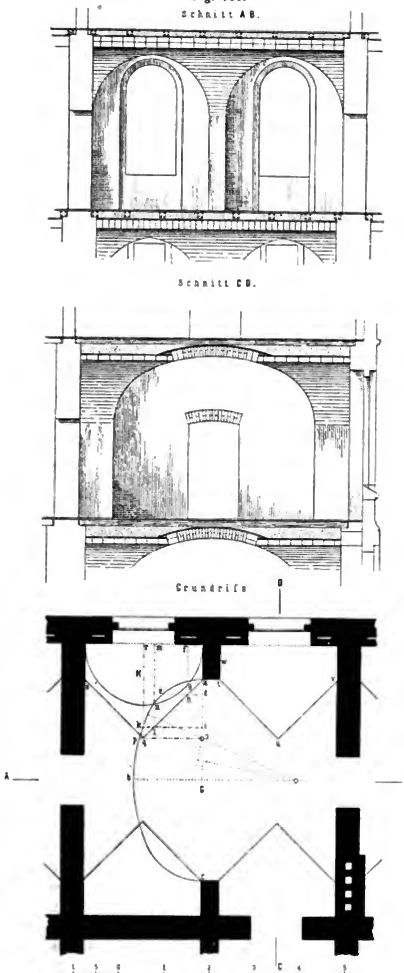
Nach dieſen Angaben laſſen ſich die mit *ABCD* im Grundriſs bezeichneten Begrenzungslinien des Kranzes ermitteln. Die Punkte $s_{,}$ und $r_{,}$ im Grundriſs ergeben ſich mit Hilfe der im Schnitt *MM* auf den um m_3 mit $m_3 p_3$, bezw. $m_3 q_3$ beſchriebenen Kreisbogen liegenden Punkten s_3 und r_3.

Für die auf den Kranzlinien *A* und *B* im Grundriſs liegenden, am weiteſten in das Hauptgewölbe tretenden Punkte $a_{,}$ und $b_{,}$ iſt der im Aufriſs angegebene, durch die Achſe des Hauptgewölbes und die wagrechte Kugelachſe geführte Schnitt $O m_{,,}$ benutzt, welcher in $a_{,,}$, bezw. $b_{,,}$ die lotrechte Projektion dieſer betrachteten Punkte ergiebt. Da dieſelben zunächſt auf Kugelkreiſen, welche entſtehen, wenn durch $a_{,,}$, bezw. $b_{,,}$ lotrechte Ebenen parallel zur Stirnmauer geführt werden, ſodann aber auf wagrechten Erzeugenden der Wölblinie, bezw. der Rückenlinie des Hauptgewölbes liegen, ſo hat man nur nötig, mit den Halbmeſſern $m_{,,}a_{,,}$, bezw. $m_{,,}b_{,,}$ die Kreisbogen $m_{,,}c_{,,}$, bezw. $m_{,,}d_{,,}$ zu ſchlagen, die Punkte $c_{,}$, bezw. $d_{,}$ auf den Kugelkreiſen $K'_{,}$, bezw. $K'_{,,}$ im Grundriſs zu beſtimmen, durch $c_{,}$, bezw. $d_{,}$ parallele Linien zu *VV* zu führen, um auf dieſen die wagrechten Projektionen $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ der am weiteſten von *VV* entfernten Punkte der bezeichneten beiden Kranzlinien zu erhalten. Für die Kranzlinien *D* und *C* bildet die parallel zu *VV* durch δ_1 im Grundriſs gezogene Gerade eine gemeinſchaftliche Tangente. Die Berührungspunkte liegen auf den Erzeugenden des Hauptgewölbes, welche durch $a_{,,}$ und $b_{,,}$ geführt werden können, und auf Kugelkreiſen, deren Projektionen im Aufriſs ſich mit $b_{,,}d_{,,}$, bezw. $a_{,,}c_{,,}$ decken würden. Erweiterte man die durch $a_{,}$, bezw. $b_{,}$ gehenden Projektionsſtrahlen im Grundriſs, ſo würden ſich in ihren Schnitten mit der Geraden δ_1 die wagrechten Projektionen der Berührungspunkte ergeben.

Die Ausführung des Kranzes erfolgt unter Verwendung von gutem, ſchnell bindendem Mörtel mit Lagerfugenflächen, die, wie im Grundriſs angedeutet, ſämtlich Meridianſchnitten der Kugelſtichkappe angehören. Die Stichkappe ſelbſt wird nach der bei Kugelgewölben üblichen Einwölbungsart, wovon erſt ſpäter die Rede ſein kann, aus freier Hand eingewölbt, nachdem das Hauptgewölbe bereits ausgerüſtet iſt. Da eine Ausſchalung der Kugelfläche der Stichkappe mit unnötigen Schwierigkeiten verknüpft iſt, ſo benutzt man bei der Einwölbung als Lehre eine dünne Stange von der Länge des Halbmeſſers $m_{,,}o_{,,}$ der inneren Kugelfläche, welche am unteren Ende mit einem Haken in eine in $m_{,,}$ befeſtigte Oeſe greift, alſo um $m_{,,}$ drehbar iſt und nun den Ringſchichten der Kugelſtichkappe entſprechend als ſog. Leier umhergeführt werden kann, ſo daſs mit Leichtigkeit durch das obere Ende der Leier die richtige Stellung und Anordnung der Lager- und Stoſsfugen für die Wölbſteine der Stichkappe zu treffen iſt.

Soll die Kugelſtichkappe gleichzeitig mit dem Hauptgewölbe ausgeführt werden,

Fig. 100.



fo gebraucht man als Lehre für die Stichkappe einen aus lehmigem Sand entfprechend geformten, auf der Schalung des Hauptgewölbes ruhenden Kern, auf welchem die Wölbfteine der Stichkappe in konzentrifch lagernden Ringfchichten mit radialen Lager- und Stofsfugen vermauert werden.

Die Anordnung von Stichkappen bei Tonnengewölben bietet im Hochbauwefen, abgefehen von der dadurch bewirkten fachgemäfsen Anlage von Licht- und Thüröffnungen, mannigfache Vorteile. So ift durch diefelben eine Auflöfung der Widerlager in einzelne kräftigere Pfeiler mit dazwifchen liegenden Nifchen oder Blenden und hiermit eine bedeutende Verminderung der fonft für ein gröfseres Tonnengewölbe erforderlichen, oft fehr ftarken Widerlagsmaffen möglich. Eine folche Auflöfung der Widerlager in Pfeiler und Blenden zeigt Fig. 100 für ein Tonnengewölbe, deffen Wölblinie ein aus drei Mittelpunkten befchriebener Korbbogen *abc* ift.

49.
Auflöfung der Widerlager in Pfeiler und Blenden.

Das eigentliche Widerlager diefes Gewölbes find die bei *a* und *c* verhältnismäfsig fchmal, aber entfprechend lang angelegten Pfeiler. Zwifchen diefen und den Querfcheidemauern, welche übrigens auch als ebenfolche Pfeiler behandelt werden können, befinden fich die Blenden. Diefe find mit geraden Stichkappen überwölbt, welche fich unmittelbar in das Hauptgewölbe einfügen.

In der Zeichnung find die unteren Durchdringungslinien in ihrer

wagrechten Projektion von vornherein als gerade Linien feftgelegt, welche im Punkte q auf der Achfe der Stichkappen unter einem rechten Winkel zufammentreten und an den Ecken der Pfeiler, fowie an den Scheidemauern endigen.

Durch diefe beftimmte Annahme wird die Wölblinie der Stichkappen von der Wölblinie des Tonnengewölbes abhängig gemacht, wie bereits in Art. 14 (S. 23) erwähnt wurde. Die Wölbungslinie der Stichkappe K' ergiebt fich in einfacher Weife durch das Feftlegen von wagrechten Erzeugenden beider Gewölbe, welche in gleicher Höhe über der Kämpferebene in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Durchdringungslinie über den Geraden $a q$, bezw. $q s$ zufammentreten. Die Erzeugende $d e$ des Hauptgewölbes ergiebt auf $a q$ den Punkt h; durch diefen Punkt zieht auch die zugehörige Erzeugende $h f$ der Stichkappe K'.

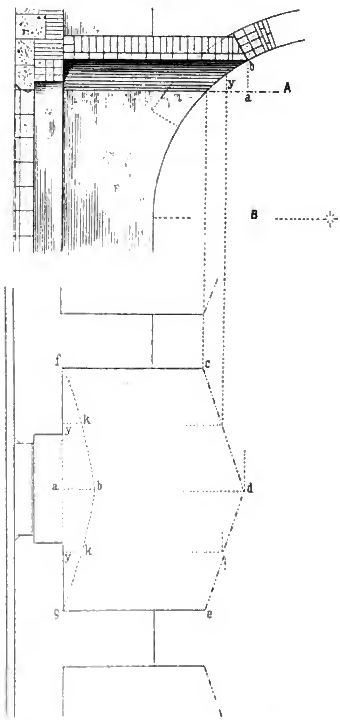
Nimmt man $d e = f g$, fo ift aus leicht erfichtlichen Gründen der Punkt g ein Punkt der Wölblinie der Stichkappe K'. In gleicher Weife ift der Punkt n, wobei $m n = i k$ wird, ermittelt.

Die fo gezeichnete Wölblinie nähert fich im vorliegenden Falle, obgleich diefelbe aus zwei Ellipfenteilen zufammengefetzt ift, fehr ftark der Halbkreisform.

Die Art der Einwölbung ift aus den Schnitten AB und CD erfichtlich. Hätten die Stichkappen nach den vorderen Begrenzungsmauern der Blenden, die nunmehr als Schildmauern für diefe Kappen auftreten und infolge hiervon meiftens nur einer mäfsigen Stärke bedürfen, auffteigen follen, fo ändert diefe Anordnung nichts an der Lage der Punkte g, n u. f. f. Die Erzeugenden der Stichkappe find dann von diefen Punkten aus nicht mehr wagrecht, fondern unter gleichen Winkeln anfteigend, dabei aber einander parallel.

Liegt die Kämpferebene A der Stichkappe höher, als die mit B bezeichnete des Hauptgewölbes (Fig. 101), und follen dennoch die Durchdringungslinien der Laibungsflächen der beiden zufammentretenden Gewölbe in ihrer wagrechten Projektion zwei gerade Linien fein, fo werden der Winkel $c d e$, unter welchem diefelben zufammenftofsen, und die Lage ihrer Ausgangspunkte c und e von der gewählten Pfeilhöhe $a b$ der Stichkappe und der inneren Wölblinie des Hauptgewölbes abhängig. Das Feftlegen der Leitlinie der Stichkappe mit den beiden Zweigen $f b$ und $g b$ ift z. B. für irgend einen Punkt k mittels der Ordinate y aus der Zeichnung ohne weiteres zu erfehen.

Fig. 101.



Wird zur Ausführung der Tonnengewölbe ausschliefslich Bruchsteinmaterial benutzt, so ist vor allen Dingen auf ein möglichst festes, lagerhaftes, also plattenartiges Material zu sehen. Damit dasselbe den für ein Gewölbe vorgeschriebenen konstruktionellen Anforderungen entspricht, ist für die einzelnen Steine ein mechanisches Zurichten geboten, wodurch die einer und derselben Wölbschar zuzuweisenden Steine thunlichst gleiche Dicke und gleiche keilförmige Form bekommen, da nur hierdurch die Lagerfugenkanten nach dem Vermauern der Steine eine parallele Richtung mit der Gewölbachse und die Mörtelbänder der Lagerfugen eine möglichst gleiche Stärke erhalten. 50. Tonnengewölbe aus Bruchsteinen.

Ebenfalls sind Steine von einer Längen- und Breitenabmessung unter 20 cm, wenn nicht eine besondere, dem Gufsmauerwerk ähnliche Ausführung stattfinden soll, von der Verwendung zur Gewölbemauerung auszuschliefsen. Die Art der Einwölbung mit Bruchsteinen hat sich hinsichtlich der Verbandanordnung der einzelnen Steine und der Wölbschichten möglichst den für Backsteingewölbe gegebenen Regeln anzupassen. Die einzelnen Wölbsteine sollen thunlichst durch die ganze Gewölbstärke reichen, die Steine selbst winkelrecht zur Laibungsfläche des Gewölbes stehen und die Stofsfugen rechtwinkelig zu den Lagerfugen gerichtet sein. Für die Verbindung der Steine ist ein guter verlängerter Zementmörtel, bezw. reiner Zementmörtel zu nehmen. Zeigen sich auf dem Rücken des Gewölbes einzelne Lücken in den Steinen oder gar stärkere Fugen, so sind dieselben sorgsam zu verzwicken; überhaupt ist darauf zu sehen, dafs ein Bruchsteingewölbe in seinem Körper ein gut geschlossenes Mauerwerk zeigt, welches in seinem Gefüge sich den Backsteingewölben so weit als irgend möglich nähert.

Bruchsteingewölbe werden zweckmäfsig nicht unter 30 cm Stärke ausgeführt. Bei gröfseren Gewölben mufs natürlich die Stärke durch statische Untersuchung ermittelt werden. Hierbei kommt nun aber wesentlich die Festigkeit des zu Gebote stehenden Materials in Betracht.

Weniger feste Bruchsteine liefern ein Gewölbe, welches dieselbe Stärke, wie ein gleich geformtes und belastetes Backsteingewölbe, unter Umständen eine noch gröfsere Stärke erfordert, während festere Bruchsteine eine Stärke erhalten können, welche der Stärke von guten Quadergewölben sich nähert. Bruchsteine, die geringere Festigkeit als gut gebrannte Backsteine besitzen, sollen zu Gewölben nicht verbraucht werden. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse kann die Stärke der Bruchsteingewölbe nach den auf S. 45 u. 46 mitgeteilten Gleichungen 45 u. 48 ermittelt werden, indem man die dadurch erhaltenen Abmessungen gleichsam als untere und obere Grenzwerte betrachtet, wobei jedoch von Fall zu Fall in Rücksicht auf die Beschaffenheit des Wölbmaterials eine Erhöhung, bezw. eine etwaige Herabminderung solcher Stärke sorgfältig erwogen werden mufs.

In Frankreich und hin und wieder auch in Deutschland sind Tonnengewölbe nur aus kleineren unbearbeiteten Steinen hergerichtet, welche an den Stirnen der Gewölbe von einem aus guten Bruchsteinen oder Quadern angefertigten, kurzen Gewölbestück begrenzt sind. Die Gewölbe bestehen alsdann aus übereinander gelagerten Schalen. Die erste Steinschicht wird unter Benutzung von Zementmörtel auf der Schalung des Gewölbes so gebildet, dafs die möglichst ebenen Flächen der Wölbsteine auf der letzteren gut lagern. Auf diese erste noch nicht vollständig erhärtete Schale kommt die zweite u. s. f., bis das Gewölbe die erforderliche Stärke erhalten hat. Das Ganze wird dann mit einem flüssigen Zementmörtel übergossen.

Ein folches Gewölbe kann auch feiner Länge nach ftreckenweife in Zonen von der unteren bis zur oberen Schale ausgeführt werden.

Nach dem Erhärten diefes Baukörpers, welcher einem fog. Gufsgewölbe ähnlich ift, entfpricht derfelbe einem vollwandigen Bogen mehr, als einem eigentlichen Gewölbe.

51. Tonnengewölbe aus Quadern.

Das edle, vornehme und dauerhafte Quadermaterial ift zur Ausführung von Tonnengewölben felbftredend fehr geeignet. Seiner oft grofsen Koften halber findet dasfelbe im Hochbauwefen jedoch eine nur gering zu nennende Verwendung, da wefentlich blofs bei Prachtbauten auf Quadergewölbe Rückficht genommen werden dürfte.

Bei der Ausführung von Gewölben aus Quadern, auch Haufteine, Schnittfteine, Werkftücke genannt, ift im allgemeinen für die Verbandanordnung der Lager- und Stofsfugenkanten das bei Backfteingewölben Gefagte mafsgebend. Die einzelnen Quader der Wölbfcharen greifen durch die ganze Gewölbftärke. Nichts fteht einer reicheren Ausfchmückung der in der Laibung des Gewölbes auftretenden unteren Flächen der Wölbquader durch Ornamente, Kaffettierung u. f. w. entgegen, und bei forgfamer, einem gut und regelrecht gewählten Fugenfchnitte entfprechender Bearbeitung der einzelnen Steine erfcheint ein Quadergewölbe als eine beachtenswerte Konftruktion.

Beim Verfetzen der Quader auf der Schalung des Gewölbes bedient man fich derfelben Werkzeuge und Hilfsmittel, welche beim Quadermauerwerk überhaupt Verwendung finden. Die Einteilung der Schichten und das Vorzeichnen der Lager- und Stofsfugenkanten auf der Schalung der Lehrbogen bietet für das richtige Verfetzen der Quader den nötigen Anhalt. Für die Mörtelgabe bei Quadergewölben ift bereits in Art. 31 (S. 78) das Nähere angegeben.

52. Schneckengewölbe.

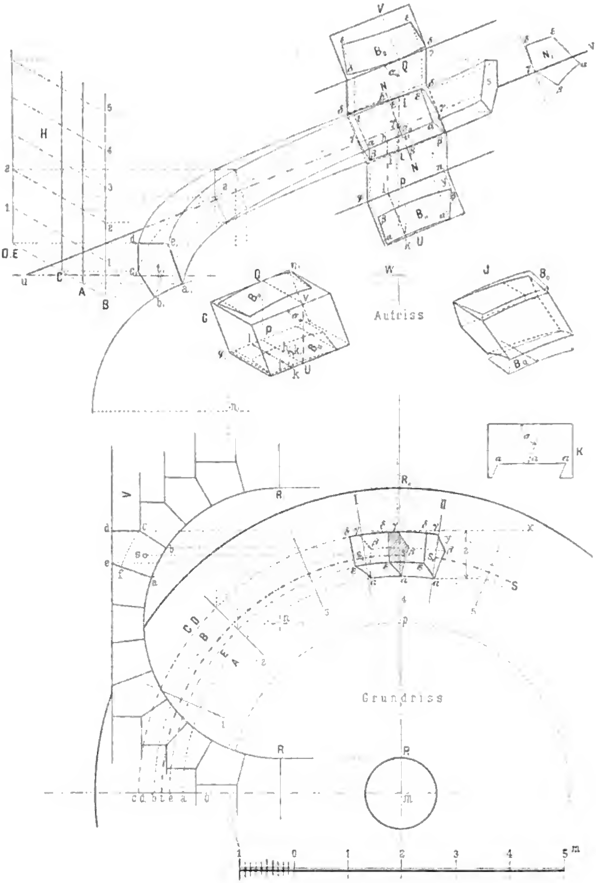
Geftaltet fich der Fugenfchnitt bei einem geraden Quadertonnengewölbe im allgemeinen in einfacher Weife, fo find doch für die in Art. 12 (S. 20) bereits erwähnten, fchraubenförmig fteigenden Tonnengewölbe oder Schneckengewölbe und für die in Art. 15 (S. 24) angeführten fchiefen Gewölbe hinfichtlich des Steinfugenfchnittes und der Formen der als Wölbfteine zu bearbeitenden Werkftücke befondere Ausmittelungen erforderlich, welche zur Beftimmung der Brettungen oder Schablonen dienen, wonach die Zurichtung der Steine vorgenommen werden mufs.

Unter Bezugnahme auf Fig. 29 (S. 21), in welcher die Anordnung der Lager- und Stofsfugenkanten der Wölbfteine für ein Schneckengewölbe nur angedeutet wurde, ift in Fig. 102 die Ausmittelung eines Werkftückes für ein derartig fchraubenförmig anfteigendes Gewölbe vorgenommen.

Die Erzeugende des Schneckengewölbes fei der in der lotrechten, durch den Mittelpunkt m der vollen Spindel (Mönch, Mäkler) geführten Ebene $K' K_0$ gelegene, hier im Grundrifs niedergeklappte Halbkreis $K_1 K'_1$ mit dem Mittelpunkte n. Die wagrechte Projektion der als Schraubenlinie auftretenden Gewölbachfe ift der um m mit dem Halbmeffer $m p$ befchriebene Kreis, während die wagrechten Projektionen der fchraubenförmigen Kämpferlinien die mit den Halbmeffern $m K_0$, bezw. $m K'$ befchriebenen Kreife find. Unter Berückfichtigung der Steigung, welche der Schraubenlinie der Gewölbachfe gegeben werden foll, liegen für jede durch m tretende lotrechte Ebene die Punkte K_1, n, K'_1 in einer wagrechten Linie.

Beftimmt man im lotrechten Mittelpunktsfchnitte V die Gewölbeteilung, fo möge $a b c d e$ die lotrechte Stirnfläche irgend eines Wölbfteines fein. Betrachtet man den Punkt s_0, welcher hier der Schwerpunkt des Flächenftückes $a b c f$ ift, als einen Punkt der fchraubenförmigen Achfe desjenigen Wölbkörpers, dem die fämtlichen Steine mit gleichen lotrechten Stirnfchnitten angehören, fo ift die wagrechte Projektion der Achfe diefer Wölbfchar der um m befchriebene Kreis $S s t$. Mit Hilfe der Projektion der Fläche $a b c d e$,

Fig. 102.



bezogen auf die Ebene $R R_0$, kann die gesamte wagrechte Projektion der bezeichneten Wölbschar vervollständigt werden, wie solches durch die um *m* beschriebenen Kreise *A, B, C, D, E* geschehen ist.

Teilt man die Achse *t S* der Wölbschar in eine beliebige Anzahl gleich grosser Teile ein und führt man durch die entsprechenden Teilpunkte lotrechte Mittelpunktsschnitte *o, 1, 2* u. s. f., bestimmt man der Steigung der Schraubenlinie der Gewölbachse *p* gemäss in der lotrechten Projektion die Lage *a, b, c, d, e*, des in der Ebene *o* befindlichen Stirnschnittes der in Frage kommenden Wölbschar, so läst sich mit Verwendung des im Plane *H* für die einzelnen Schraubenlinien a_1, *b*, bis *e*, angegebenen Steigungsmasses, wobei z. B. *B 1* = *1 2* = *2 3* u. s. f. für die Schraubenlinie b_1, ebenso für die Schraubenlinien *d*, und *e*, die Strecke *D 1* = *B 1*, *1 2* = *1 2* u. s. f. ist, die lotrechte Projektion des schraubenförmigen Körpers der Gewölbschar festlegen. Die Lagerfugenflächen derselben werden von den Schraubenlinien *a*, $e_{,,}$ bezw. *b*, c_1, bezw. *c*, *d*, begrenzt.

Die Stossfugenflächen sind in folgender Weise zu ermitteln. Für die vorteilhafte Bearbeitung ist die Teilung jeder Wölbschar für sich in Wölbsteine von gleicher Länge ratsam. Nebeneinander liegende Wölbscharen müssen natürlich auf Verband mit Mitte Stossfugenfläche auf Mitte Lagerfugenfläche geordnet werden, so dass, diesem Verbande entsprechend, am Anfange und am Ende jeder zweiten Wechselschar ein Stein von der halben Länge der übrigen Scharsteine entsteht. Ist nun für die hier genommene Wölbschar *S* die durch $s_,$ und $s_{,,}$ gegebene Bogenstrecke, wobei $s s_, = s s_{,,}$ ist, die Länge der Achse eines Wölbsteines, so gehen durch die Punkte $s_,$ und $s_{,,}$ die lotrechten Mittelpunktsschnitte *I* und *II*, welche, nach rechts und links unter Beibehaltung ihres Abstandes $s_, s_{,,}$ auf dem Kreise *S* übertragen, die allgemeine Lage der Stossfugenflächen der Wölbschar geben. Die besondere Lage und Begrenzung der Stossfugenflächen richtet sich nach der Vorschrift, dass dieselben in Ebenen liegen sollen, welche normal zur Schraubenlinie der Achse der zugehörigen Wölbschar geführt werden. In der wagrechten Projektion ist *s* der mittlere Achsenpunkt des Wölbsteines; demselben gehört die lotrechte Projektion s_0 auf *L L* an. Um die durch s_0 gehende Spur *N N* der gesuchten Normalebene einer Stossfugenfläche zu finden, möge durch *t*, eine wagrechte Ebene *W* gelegt und an die Schraubenlinie in dem Elemente, welches durch *s* und s_0 projiziert ist, eine Tangente geführt sein. Letztere erhält man in der lotrechten Projektion, wenn die erstreckte Bogenlänge *s t* des Kreisbogens *S* des Grundrisses von *W* nach *u* im Aufriss abgetragen und nun die Gerade $u s_0 v$ gezogen wird. Zieht man *N N* durch s_0 rechtwinkelig zu *u v*, so erhält man hierdurch die Spur der gesuchten Normalebene. Dieselbe schneidet die Schraubenlinien *a*, in α, *b*, in $\beta_,$, *c*, in γ, *d*, in δ und *e*, in ε. Die wagrechten Projektionen dieser Schnittpunkte sind im Grundriss gleichfalls mit α, β . . . ε bezeichnet. Durch diese Punkte sind die Grenzpunkte für die Stossfugenflächen auf den einzelnen zugehörigen Schraubenlinien bestimmt. Weitere Punkte, welche der Normalebene und den einzelnen Schraubenflächen zukommen, lassen sich mit einigen auf den einzelnen Schraubenflächen eingezeichneten Hilfsschraubenlinien ermitteln, da die Durchstosspunkte derselben mit *N N* sich dann ebenso wie jene Grenzpunkte ergeben.

Ist hiernach im Grundriss die wagrechte Projektion α β γ δ ε einer Stossfugenfläche bestimmt, so ist dieselbe für die Mittelpunktsschnitte *I* und *II* nur zu übertragen, weil die wagrechten Projektionen aller normal zu der Schraubenlinie der Achse einer Wölbschar gerichteten Schnitte genau dieselben bleiben. Denkt man sich $R R_0$ auf *I*, bezw. *II* so gelegt, dass dieselben, sich deckend, *s* mit s_1, bezw. *s* mit $s_{,,}$ zusammenfallen lassen, so decken sich auch α mit α, β mit β u. s. f., und man erhält danach die vollständige wagrechte Projektion eines Wölbsteines, dessen Projektion im Aufriss nunmehr leicht gezeichnet werden kann. Ebenso bietet die Ermittelung der Fläche N_1 des Normalschnittes *N N* keine Schwierigkeit.

Für die Bearbeitung des in den Projektionen dargestellten Wölbsteines sind ausser der Brettung N_1 noch Brettungen oder Schablonen B_o und B_u erforderlich, welchen zur leichten Uebertragung der Schraubenlinien α α, β β u. s. f. noch Brettungen, wie z. B. *K* für α α, hinzugefügt werden können.

Umschliesst man die lotrechte Projektion des Wölbsteines durch ein Rechteck, welches in jeder Seite durch die äusserst gelegenen Punkte der Projektion geht, so erhält man ohne Berücksichtigung eines Uebermasses, des sog. Arbeitszolles, die wirkliche Länge und Höhe des Steines, woraus der Wölbstein herzustellen ist. Begrenzt man ferner die wagrechte Projektion dieses Wölbsteines durch zwei parallele Linien, welche, rechtwinkelig zu $R_o R$ geführt, durch die äussersten Punkte dieser Projektion gehen, so erhält man im Abstande *z* derselben die wirkliche Breite des Werkstückes.

Hätte man die Abmessungen unter Beifügung eines Arbeitszolles entsprechend vergrößert, so würde im Grundgedanken an der Ausmittelung der Schablonen nichts geändert werden. Denkt man sich die für die Brettung B_u maßgebende Seitenfläche U niedergeklappt, so bestimmt sich der Punkt $\mathfrak{z}$ derselben in folgender Weise. Man ziehe die Lotrechte $\mathfrak{z}\,\pi$, errichte in π zur Linie P das Lot y, entnehme aus dem Grundriß die Ordinate y der wagrechten Projektion $\mathfrak{z}$ und trage $\pi\,\mathfrak{z} = y$ ab; alsdann ist $\mathfrak{z}$ auf der Ebene U ein Punkt der Brettung B_u. In derselben Weise wird nicht allein für B_u, sondern auch für B_o, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, die erforderliche Zahl von Punkten für die Brettungen aus den bekannten Projektionen der oberen und unteren Flächen des Wölbsteines ermittelt. Die Brettungen sind also Projektionen auf die ebenen Seitenflächen des Werkstückes.

Für das Anlegen dieser Brettungen an die obere, bezw. untere Ebene des Werkstückes sind die Geraden $Q\,V$, bezw. $P\,U$ maßgebend, welche rechtwinkelig zur Linie Q, bezw. zur Linie P stehen und deren Fußpunkte Q und P auf der lotrechten Linie $L\,L$ liegen. In der Darstellung G ist das Anlegen der Brettungen B_o und B_u beim Werkstücke angegeben. Hierbei ist $Q\,\eta_1 = Q\,\eta$ der Schablonenfläche V und $P\varphi_1 = P\varphi$ der Schablonenfläche U. Reißt man die Geraden $v\,U$, bezw. $Q\,P$ am Steine vor, so entsprechen dieselben der Lotrechten $L\,L$, welche um einen Winkel σ von den Begrenzungslinien Q, bezw. P abweicht. Dieser Winkel σ ist der sog. Schmiegewinkel.

Mit Hilfe desselben können für die Bearbeitung des Wölbsteines die nötigen Punkte der am Steine auftretenden Schraubenlinien leicht festgelegt werden. So ist für den Punkt h_1 am Steine G zunächst $P\,l$ aus der Fläche $U = P\,l$ am Steine zu nehmen und $l\,k$ winkelrecht zur P-Linie vorzureißen, alsdann durch k, dem Schmiegewinkel σ entsprechend, die Linie $k\,k_1$ parallel Uv zu ziehen und endlich $k\,k_1$ gleich der Länge $i\,h$ in der lotrechten Projektion des Wölbsteines zu nehmen. Würde nun $i\,h_1$ gleich und parallel $k\,k_1$ gearbeitet, so ist h_1 ein Punkt der Schraubenlinie α am Wölbsteine. Dieses Uebertragen der Punkte der Schraubenlinie wird durch die vorhin schon erwähnten Brettungen K erleichtert, welche an die betreffenden ebenen Seitenflächen des Werkstückes gelegt werden können und hier das Vorreißen der Projektionen der Schraubenlinien gestatten.

Sind die einzelnen Stücke des Wölbsteines bis zu den betreffenden Schraubenlinien abgearbeitet und die Flächen für die ebenen Stoßfugenflächen vermöge der zugehörigen Begrenzungslinien $\alpha\,\beta$, bezw. $\delta\,\varepsilon$ hergerichtet, so sind die Schablonen N, der Stoßfugenflächen anzulegen, wonach alsdann die Steinstücke oder Bossen an den Laibungs- und Rückenflächen zwischen den bereits erhaltenen Schraubenlinien sorgfältig fortgenommen werden können. Bei der Darstellung $\mathfrak{J}$ sind diese Stücke beseitigt, während oben und unten die den Brettungen B_o und B_u entsprechenden Bossen bis zu den ihnen zukommenden Schraubenlinien noch belassen sind.

Wie später bei der Ausführung der schiefen Tonnengewölbe erörtert wird, kann entsprechend der schon aufgestellten Gleichung 31 (S. 34) für das Festlegen der Kurven $\alpha\,\alpha$ und $\beta\,\beta$ der Brettung B_u und ebenso für die Kurven $\delta\,\delta$ und $\varepsilon\,\varepsilon$ der Brettung B_o je ein Kreisbogenstück mit einem bestimmten Krümmungshalbmesser genommen werden. Ist z. B. ρ_a der gesuchte Halbmesser für die Kurve $\alpha\,\alpha$ der Brettung B_u, so wird

$$\rho_a = \frac{r_a}{\sin \sigma^2}.$$

Ebenso wird, wenn ρ_δ der gesuchte Halbmesser für die Kurve $\delta\,\delta$ der Brettung ist,

$$\rho_\delta = \frac{r_\delta}{\sin \sigma^2} \text{ u. s. f.}$$

In diesen Ausdrücken ist r_a gleich dem Halbmesser $m\,\alpha$, r_δ gleich dem Halbmesser $m\,\delta$ der im Grundriß festgelegten Kreisbogen A, bezw. D, während σ den Winkel bezeichnet, welchen die untere, bezw. obere Rechteckseite des die lotrechte Projektion des Wölbsteines umschließenden Rechteckes mit dem Lote $L\,L$ bildet. Diese Rechteckseiten sind in der Zeichnung parallel mit $u\,v$ gelegt.

Nach den Abmessungen in der Zeichnung ist $\sin \sigma = \frac{W u}{u\,s_0} = \frac{6{,}9}{7{,}4}$; ferner ist

$$r_a = m\,\alpha = 4^{\text{m}} \quad \text{und} \quad r_\delta = m\,\delta = 4{,}85^{\text{m}}.$$

Hiernach ist

$$\rho_a = \frac{4}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 4{,}60^{\text{m}} \quad \text{und} \quad \rho_\delta = \frac{4{,}85}{\left(\frac{6{,}9}{7{,}4}\right)^2} = 5{,}58^{\text{m}}.$$

Auf gleichem Wege lassen sich die Krümmungshalbmesser für $\beta\,\beta$ an B_u, bezw. für $\varepsilon\,\varepsilon$ an B_o berechnen und somit unter Benutzung der betreffenden Krümmungshalbmesser die Schablonen B_u und B_o in erleichterter Weise in natürlicher Größe aufzeichnen.

Für die Ausführung der Schneckengewölbe in Backſtein- oder Bruchſteinmaterial iſt hinſichtlich der Stellung und des Verbandes der Wölbſcharen mit Sorgfalt zu verfahren.

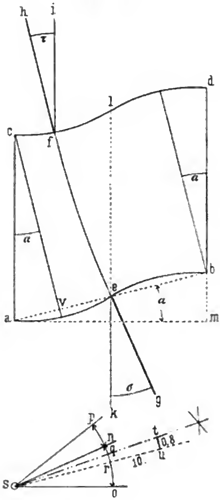
Das Aufſtellen der Lehrbogen hat, der ſchraubenförmig aufſteigenden Gewölbachſe entſprechend, in gleichen wagrechten, nicht zu groſs zu nehmenden Entfernungen der mittleren Lotlinien der Bogen ſo zu geſchehen, daſs jeder lotrecht geſtellte Lehrbogen gleichſam in einem Mittelpunktsſchnitte ſteht und jeder folgende Lehrbogen um die Steighöhe, welche den wagrechten Entfernungen ihrer mittleren Lotlinien zukommt, höher geſtellt wird, als der unmittelbar vorher befindliche Lehrbogen. Die Schalung der Lehrbogen wird aus thunlichſt ſchmalen, nicht zu langen Leiſten, welche nach vorherigem Erweichen in Waſſer etwas biegſam ſind, hergeſtellt. Bei ſchweren Gewölben werden unter Umſtänden mehrere übereinander befindliche Lagen ſolcher Leiſten erforderlich. Bei der Verſchalung iſt man bemüht, die Oberfläche derſelben möglichſt genau der Laibungsfläche des ſchraubenförmigen Gewölbes anzupaſſen, und man hat demgemäſs die einzelnen Leiſten in ihren Kanten etwas nachzuarbeiten.

53. Schiefe Tonnengewölbe.

Ueber die allgemeine Geſtaltung der ſchiefen Tonnengewölbe iſt bereits in Art. 15 (S. 24) das Nötigſte geſagt.

Für die beſondere Ausführung derſelben kommen noch einige Punkte in Betracht, welche hier näher berührt werden ſollen. In den meiſten Fällen wird für die Ausführung der ſchiefen Gewölbe aus Werkſtücken der früher gekennzeichnete ſog. engliſche Fugenſchnitt in den Vordergrund treten, wobei der konſtante Fugenwinkel für die Richtung der Lagerkanten auf der abgewickelten Laibungsfläche des Gewölbes maſsgebend wird. Die Gröſse dieſes Winkels bedingt die Steigung der Schraubenlinien der Lagerkanten und damit die mehr oder weniger ſtark von Stirn zu Stirn, bezw. vom Kämpfer zur Stirn anſteigenden Schraubenflächen der Lager- und weiter der Stoſsflächen der Wölbſteine. Iſt jener Winkel zu groſs, ſo kann das Gleiten der Steine auf den Lagerflächen und hiernach das Ausbauchen an der Gewölbſtirn eintreten. Um dieſen Uebelſtand zu vermeiden, läſst man für den konſtanten Fugenwinkel einen Grenzwert gelten, welcher wie folgt feſtgeſetzt wird.

Fig. 103.



Iſt in Fig. 103 *abcd* die abgewickelte Laibungsfläche eines ſchiefen Gewölbes, *aeb* die Verbindungsſehne der abgewickelten Stirnlinie, *cv* ein Lot auf der Geraden *ab*, ſo giebt nach dem in Art. 15 (S. 31) Geſagten der $\sphericalangle\, acv = \sphericalangle\, bam = \sphericalangle\, \alpha$ den konſtanten Fugenwinkel. Beſtimmt man nach den an der angezogenen Stelle gemachten Mitteilungen die Scheiteltrajektorie *ef*, ſo weicht die im Elemente *e* dieſer Kurve gezogene Tangente *eg* um $\sphericalangle\, gek = \sphericalangle\, \sigma$ und die im Ele-

mente f der Trajektorie geführte Tangente fh um $\sphericalangle hfi = \sphericalangle \tau$ von der Richtung der Scheitellinie Iek, bezw. von der ihr parallelen Linie if ab. Im allgemeinen haben die Winkel σ und τ eine vom Winkel α abweichende Gröfse. Nimmt man aus den beiden Werten der Winkelgröfsen σ und τ den Durchfchnitt, fo foll erfahrungsmäfsig, um den vorhin erwähnten Uebelftand nicht herbeizulaffen, der Unterfchied zwifchen der Gröfse diefes Durchfchnittswinkels und dem Winkel α die Gröfse von 8 Grad nicht überfchreiten.

In der Zeichnung find die beiden Winkel $\sigma = osn$ und $\tau = nsp$ zum Winkel osp zufammengetragen; der Winkel osp ift durch den Strahl sq halbiert und hierdurch der Durchfchnittswert von $\sigma + \tau$ als Winkelgröfse qso erhalten. Sodann ift $\sphericalangle \alpha = osr$ eingetragen, fo dafs jetzt im $\sphericalangle qsr$ der Unterfchied zwifchen qso und α beftimmt ift. Im rechtwinkeligen Dreiecke sut ift die Kathete su gleich 10 Einheiten eines beliebigen Mafsftabes genommen; die Beftimmung der Länge tu der zweiten Kathete nach demfelben Mafsftabe ergiebt die Gröfse von $0{,}8$ Einheiten. Mithin ift $\operatorname{tg} tsu = \frac{0{,}8}{10} = 0{,}08$. Diefe Zahl entfpricht einem Winkel von $\backsim 4^{0}\,34'$. Derfelbe ift alfo von dem Grenzwerte $= 8$ Grad noch weit entfernt, und dieferhalb kann das in der Zeichnung behandelte Gewölbe unter Benutzung des konftanten Fugenwinkels zur Ausführung kommen. Würde der bezeichnete Unterfchied die Gröfse von 8 Grad übertreffen, fo wäre, wenn fonft eine Aenderung der ganzen Gewölbeanlage unftatthaft ift, der ftrenge oder fog. franzöfifche Fugenfchnitt in Anwendung zu bringen.

Für die praktifche Ausführung wird unter Anwendung des konftanten Fugenwinkels der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes als Kreisbogen genommen, fo dafs der Stirnbogen ein elliptifcher Bogen wird. Die Teilung für die Wölbfteine erfolgt nach den in Art. 15 (S. 33) gegebenen Erörterungen. Da hiernach alle Wölbfteine mit Ausnahme der Steine mit befonders abgeftumpften Ecken in den Bogenanfängen und an den Stirnen des Gewölbes nach den gleichen Brettungen bearbeitet werden können, fo ift hierdurch eine weit gröfsere Erleichterung für die Herftellung der Wölbfteine gefchaffen, als wenn umgekehrt der Stirnbogen des fchiefen Gewölbes ein Kreisbogen und der Normalfchnitt ein elliptifcher Bogen ift. In diefem Falle können mit geringen Ausnahmen die einzelnen Wölbfteine ebenfowenig, wie beim franzöfifchen Fugenfchnitte, nach denfelben Schablonen bearbeitet werden.

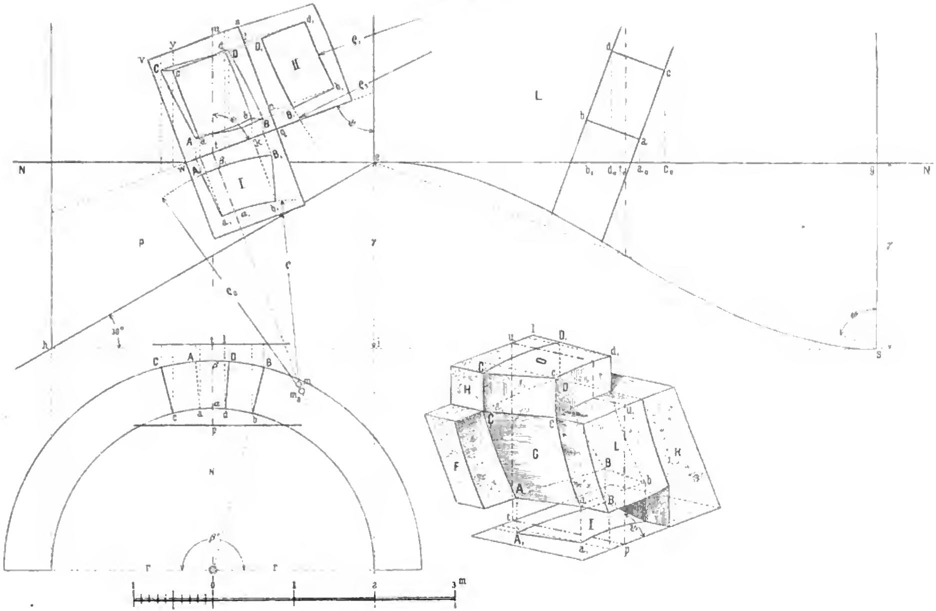
Bei der erften Anordnung find allerdings elliptifche Lehrbogen, welche parallel zur Stirn aufgeftellt werden, anzufertigen, während bei der letzten Anordnung kreisförmige Lehrbogen entftehen. Allein diefer Umftand ift für die erfte Anordnung gegenüber den fonftigen Vorteilen bei den Wölbfteinen nicht von erheblicher Bedeutung.

Beim Ausmitteln der Brettungen eines Wölbfteines des in Fig. 104 näher behandelten fchiefen Gewölbes kommen für die keilförmige Geftalt des Steines vorwiegend die Projektionen der Seitenflächen desfelben auf Ebenen in Betracht, deren Spuren in der Bildtafel P durch wq und qs angedeutet find. Beide Ebenen ftehen hier rechtwinkelig aufeinander und gleichzeitig lotrecht zur Bildtafel, während fie mit der durch die Achfe tu des Gewölbes geführten, ebenfalls rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden Ebene einen Winkel ψ, bezw. $90 - \psi$ einfchliefsen.

Ift die Laibungsfläche des Gewölbes die Fläche eines Kreiscylinders mit dem Halbmeffer r, deffen Leitlinie in der rechtwinkelig zur Cylinderachfe geführten Ebene NN liegt, fo fchneiden die durch wq und qs beftimmten Ebenen den Kreiscylindermantel nach Ellipfen, deren Achfenlängen berechnet werden können, fobald r und Winkel ψ gegeben find.

Ift vorweg nach Fig. 105 der Winkel ψ willkürlich von einer Gröfse σ angenommen, ift übrigens aber an der Stellung der beiden fich fchneidenden Ebenen CD und EF, welche wq und qs entfprechen follen, nichts weiter geändert, als dafs fich diefelben auf der Cylinderachfe zm in einer rechtwinkelig zur Bildtafel ftehenden geraden Linie treffen; fo wird die Länge diefer geraden Linie von der Cylinderachfe bis zum Cylindermantel gleich dem Halbmeffer r der Leitlinie des Cylinders und fofort auch gleich der Länge der Halbachfen b, bezw. b_1 der erwähnten Ellipfen.

Fig. 104.



Für die Cylinderfläche *1* mit einem Kreife vom Halbmeffer *r* als Leitlinie liefert die fchneidende Ebene *CD* eine Ellipfe mit den Halbachfen *a* und *b*.

Unter Bezugnahme auf Fig. 105 ift

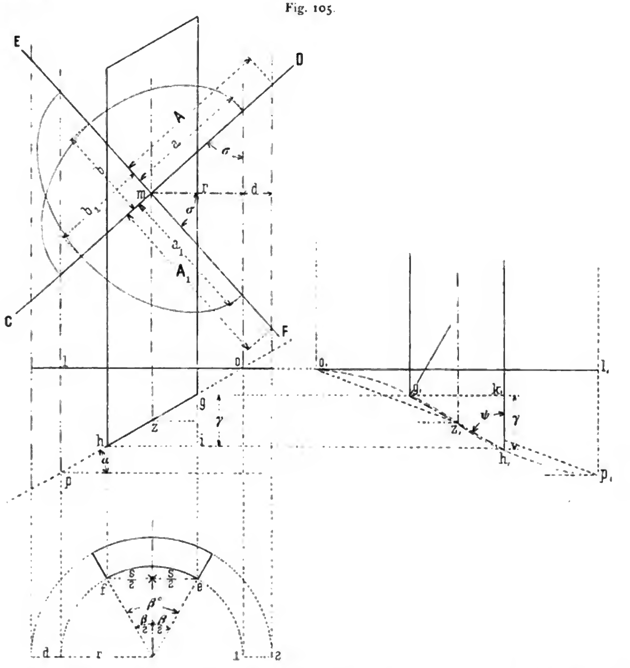
$$a = \frac{r}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad b = r \quad \ldots \ldots \ldots \quad 68.$$

Ebenfo giebt für diefelbe Cylinderfläche *1* die fchneidende Ebene *EF* eine Ellipfe, deren Halbachfen

$$a_1 = \frac{r}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad b_1 = r. \quad \ldots \ldots \ldots \quad 69.$$

werden.

Fig. 105.



Für die Cylinderfläche *2*, deren normale kreisförmige Leitlinie einen Halbmeffer $r + d$ befitzt, entfpringt bei der fchneidenden Ebene *CD* eine Ellipfe mit den Halbachfen

$$A = \frac{r + d}{\sin \sigma} \quad \text{und} \quad B = r + d; \quad \ldots \ldots \ldots \quad 70.$$

ebenfo bei der fchneidenden Ebene *EF* eine folche mit den Halbachfen

$$A_1 = \frac{r + d}{\cos \sigma} \quad \text{und} \quad B_1 = r + d. \quad \ldots \ldots \ldots \quad 71.$$

Bezeichnet ρ den Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbachſe b der für $C\,D$ in Frage kommenden Ellipſe der Cylinderfläche 1, ſo iſt

$$\rho = \frac{a^2}{b},$$

d. h. nach Gleichung 68

$$\rho = \frac{\left(\frac{r}{\sin \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\sin \sigma^2} \quad \ldots \quad 72$$

Iſt ferner ρ_1 der Krümmungshalbmeſſer im Endpunkte der Halbachſe b_1 der für $E\,F$ geltenden Ellipſe der Cylinderfläche 1, ſo wird

$$\rho_1 = \frac{a_1^2}{b_1}$$

oder nach Gleichung 69

$$\rho_1 = \frac{\left(\frac{r}{\cos \sigma}\right)^2}{r} = \frac{r}{\cos \sigma^2} \quad \ldots \quad 73$$

In gleicher Weiſe erhält man für die Ellipſen der Cylinderfläche 2 bei der Ebene $C\,D$

$$\rho_2 = \frac{r+d}{\sin \sigma^2} \quad \ldots \quad 74.$$

und bei der Ebene $E\,F$

$$\rho_3 = \frac{r+d}{\cos \sigma^2} \quad \ldots \quad 75.$$

Iſt α der Winkel der Schiefe und β der Centriwinkel eines Kreisbogens $e\,f$ mit dem Halbmeſſer r, welcher als Normalſchnitt eines ſchiefen Gewölbes feſtgeſetzt iſt, ſo iſt $g\,i = k_1 h_1 = \gamma$, gleich dem in der Richtung der Gewölbachſe gemeſſenen Abſtande des einen Endes des ſchrägen Hauptes von dem anderen, und man erhält, da $h\,i = f\,e = s$ iſt,

$$\gamma = s \,.\, \operatorname{tg} \alpha,$$

oder, da $\frac{\frac{s}{2}}{r} = \sin \frac{\beta}{2}$, alſo $s = 2\,r \,.\, \sin \frac{\beta}{2}$ iſt; auch

$$\gamma = 2\,r \,.\, \sin \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \alpha \quad \ldots \quad 76.$$

Die abgewickelte Bogenlänge von $e\,f = g_1 k_1$ iſt gleich $\frac{\pi\,r}{180^0}\,\beta^0$. Betrachtet man das in der Abwickelung der Laibungsfläche des ſchiefen Gewölbes aus $g_1 k_1$, der Länge γ und der Sehne $g_1 h_1$ der abgewickelten Stirnlinie gebildete rechtwinkelige Dreieck $g_1 k_1 h_1$, ſo iſt in demſelben

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{g_1 k_1}{\gamma} = \frac{\pi\,r\,\beta^0}{180^0 \gamma}, \quad \ldots \quad 77.$$

worin γ nicht weiter durch den Wert aus Gleichung 76 erſetzt werden ſoll.

Nimmt man nunmehr den früher beliebig angenommenen Winkel σ ſo an, daſs derſelbe gleich Winkel ψ wird, ſo erhält man nach Gleichung 72

$$\rho = \frac{r}{\sin \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{\operatorname{tg} \psi}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = \frac{r\,(1 + \operatorname{tg} \psi^2)}{\operatorname{tg} \psi^2} = r + \frac{r}{\operatorname{tg} \psi^2}$$

oder unter Benutzung der Gleichung 77

$$\rho = r + r\left(\frac{180^0 \gamma}{\pi\,r\,\beta}\right)^2 = r + \left(\frac{180^0 \gamma}{\pi\,\beta^0}\right)^2 \frac{1}{r} \quad \ldots \quad 78.$$

und ferner nach Gleichung 73

$$\rho_1 = \frac{r}{\cos \psi^2} = \frac{r}{\left(\frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg} \psi^2}}\right)^2} = r\,(1 + \operatorname{tg} \psi^2),$$

d. h. unter Verwertung von Gleichung 77

$$\rho_1 = r\left[1 + \left(\frac{\pi\,r\,\beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2\right] = r + \left(\frac{\pi\,r\,\beta^0}{180^0 \gamma}\right)^2 r \quad \ldots \quad 79.$$

Die beiden Gleichungen 78 u. 79 ftimmen mit den früher gefundenen Ausdrücken für die Krümmungshalbmeffer der Schraubenlinien der Gleichungen 30 u. 33 (S. 34), wie vorauszufehen war, vollftändig überein.

Für die Ellipfen der Cylinderfläche z, alfo der Rückenfläche des fchiefen Gewölbes, ergiebt fich unter der Beftimmung $\sigma = \psi$ und bei der Benutzung von Gleichung 74 nach Gleichung 78

$$\rho_2 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{180^\circ \gamma}{\pi\, r\, \beta^0}\right)^2\right], \quad \ldots \ldots \quad 80.$$

fowie nach der Gleichung 79

$$\rho_3 = (r + d) \left[1 + \left(\frac{\pi\, r\, \beta^0}{180^\circ \gamma}\right)^2\right] \quad \ldots \ldots \quad 81.$$

Da die Abmeffungen der einzelnen Wölbfteine im Verhältnis zu den Halbmeffern der Leitlinien der Cylinderflächen immer noch als klein anzufehen find, fo können, wie fchon in Art. 15 (S. 33) erwähnt ift, die Krümmungshalbmeffer ρ, ρ_1, ρ_2 und ρ_3 zur Beftimmung der Brettungen, bezw. der keilförmigen Verjüngung der Wölbfteine benutzt werden. Bei recht grofsen Abmeffungen der Wölbfteine hätte man für die Brettungen die von den zugehörigen Ellipfen begrenzten Flächenftücke in Betracht zu ziehen. Die Längen der reellen Achfen diefer Ellipfen ergeben fich nach den Gleichungen 68 bis 71.

Beifpiel. Für ein fchiefes Gewölbe (Fig. 104) fei der Normalfchnitt N ein Halbkreis mit dem Halbmeffer $r = 2^m$; die Dicke d des Gewölbes betrage $0{,}6^m$; der Winkel α der Schiefe fei 30 Grad, und der Centriwinkel β ift 180 Grad.

Man erhält nach Gleichung 76

$$\gamma = 2 \cdot 2 \cdot \sin 90 \cdot \operatorname{tg} 30 = 4 \operatorname{tg} 30 = 4 \cdot 0{,}5774 = \backsim 2{,}31^{\,m}.$$

Alsdann ift nach Gleichung 78

$$\rho = 2 + \left(\frac{180 \cdot 2{,}31}{3{,}1416 \cdot 180}\right)^2 \cdot \frac{1}{2} = 2{,}27^{\,m}.$$

Ferner wird nach Gleichung 79

$$\rho_1 = 2 + \left(\frac{3{,}1416 \cdot 2 \cdot 180}{180 \cdot 2{,}31}\right)^2 2 = 16{,}80^{\,m}.$$

Endlich liefern die Gleichungen 80 u. 81

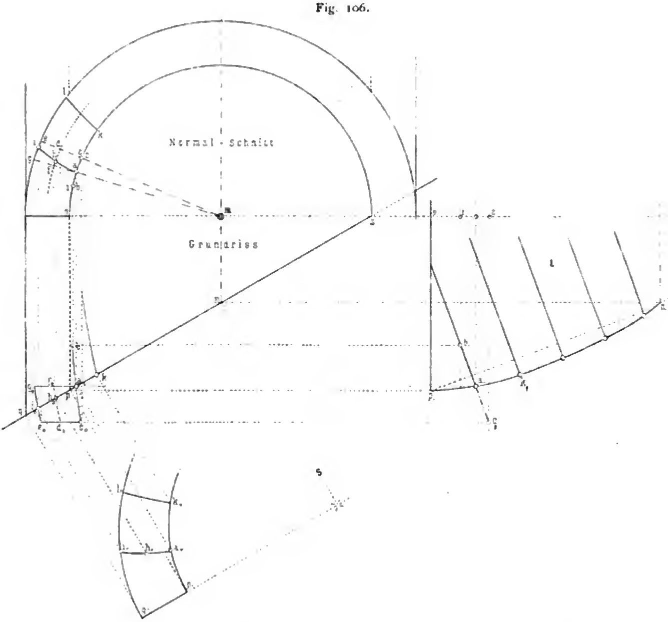
$$\rho_2 = 2{,}95^{\,m} \quad \text{und} \quad \rho_3 = 21{,}84^{\,m}.$$

Sind, wie in Fig. 104 gefchehen, die Projektionen des Wölbfteines nach den in Art. 15 (S. 31) gemachten Angaben, hier jedoch ohne weitere Zuhilfenahme der abgewickelten Rückenfläche des Gewölbes, beftimmt; find ferner durch das hier mit einem, der Deutlichkeit wegen übertrieben grofsen, Uebermafse (Arbeitszoll) verfehene Rechteck $q\,s\,v\,w$, welches die lotrechte Projektion des Wölbfteines umfchliefst, die Länge und Höhe des Werkftückes, fowie durch die Länge der Linie $p\,t$ im Plane N die Dicke diefes Quaders, woraus der Wölbftein angefertigt werden foll, feftgefetzt — fo ift z. B. für die Brettung I zunächft nur nötig, den Punkt $\alpha_{,}$, wofür $t\,\alpha_{,} = t\,\alpha$ im Plane N und den Punkt $\beta_{,}$, wofür $t\,\beta_{,} = t\,\beta$ desfelben Planes N ift, einzutragen. Verlängert man die Gerade $\beta_{,}\alpha_{,}$ und nimmt man $\alpha_{,}m = \rho$, $\beta_{,}m_3 = \rho_2$, fo find m und m_3 die Mittelpunkte für die Kreisbogen, auf welchen die Punkte $a_{,}$, $b_{,}$, fowie $A_{,}$, $B_{,}$ liegen. Die Lage diefer Punkte ift aus den Projektionen leicht zu beftimmen. Die Linien $a_{,}A_{,}$ und $b_{,}B_{,}$ find gerade Linien. Für die Brettung II liegen die Punkte $b_{,}$ und $d_{,}$ auf einem Kreisbogen vom Halbmeffer $\rho_{,}$, während die Punkte $B_{,}$ und $D_{,}$ auf einem Kreisbogen vom Halbmeffer ρ_3 fich befinden. Die Lagen von $b_{,}$, $d_{,}$ und $B_{,}$, $D_{,}$ ergeben fich in einfacher Weife aus den Projektionen des Wölbfteines, indem z. B. für den Punkt $d_{,}$ der Brettung II die Ordinate $l\,d_{,} = l\,d$ im Plane N ift u. f. f. Auch bei diefer Brettung find $b_{,}B_{,}$ und $d_{,}D_{,}$ gerade Linien. Ueber das Anlegen der Brettungen I und II an das betreffende Werkftück und das Bearbeiten desfelben, unter Heranziehen der für die Schraubenlinien $a\,b$, $b\,d$ u. f. f. der lotrechten Projektion des Wölbfteines angefertigten Schablonen, gilt wefentlich das in Art. 52 (S. 108) beim Schneckengewölbe angegebene Verfahren. Hier ift nur zu bemerken, dafs die Brettung I fowohl für die obere, als auch für die untere Steinfläche, die Brettung II ebenfalls für die vordere und hintere Steinfläche zu benutzen find, wenn diefe Schablonen nur entfprechend den Lagen der zugehörigen Grenzpunkte des Wölbfteines auf den zu bearbeitenden Stein gelegt werden.

Der in Fig. 104 im Bilde gegebene Stein zeigt wohl genügend die unter Beobachtung der Geraden $u\,t$, bezw. $u_{,}p_{,}$ welche durch den Schmiegewinkel ψ beftimmt find, erforderlichen Handhabungen für das Anlegen der Brettungen und das danach einzuleitende Bearbeiten des Gewölbfteines G, welcher nach Befeitigung der Boffen O, F, L, K entfteht.

Eine befondere Aufmerkfamkeit erfordert bei der Anwendung des englifchen Fugenfchnittes die Bearbeitung der Stirnfteine. Die Stirnebene des Gewölbes fchneidet die fchraubenförmigen Lagerfugenflächen desfelben im allgemeinen in nach unten konvexen Kurven, fo dafs für jeden rechts und links fymmetrifch vom Schlufsftein liegenden Wölbftein eine befondere Stirnfchablone nötig wird. In Fig. 106 ift für einen Stein eine Stirnbrettung $a_{,,}\ i_{,,}\ k_{,,}\ l_{,,}$ ermittelt.

Fig. 106.



Der Normalfchnitt des fchiefen Gewölbes ift als Halbkreis angenommen und in L ein Stück der Abwickelung der Laibungsfläche des Gewölbes gezeichnet.

Auf der Fläche L find die durch $a, k,$ u. f. f. rechtwinkelig auf $p, n,$ ftehenden, abgewickelten Lagerfugenkanten eingetragen, wobei die Kante $b, a,$ noch beliebig bis $c,$ verlängert ift. Hier liegt der Punkt $c,$ auf der Erzeugenden $2,$ wofür die Länge $o\,2$ gleich der Bogenlänge $o\,2$ im Normalfchnitte ift. Da die Lagerfugenflächen dadurch erzeugt werden, dafs in jedem Punkte der fchraubenförmigen Lagerkante eines Wölbfteines eine gerade Linie vorhanden fein foll, welche normal zur inneren Gewölbfläche fteht, fo giebt der im Normalfchnitte durch m und 2 geführte Halbmeffer $m\,e$ diefe gerade Linie in der Strecke $c\,e$ an. Der Punkt e ift der Durchftofspunkt derfelben mit der Rückenlinie des Gewölbes; die wagrechte Projektion der Geraden $c\,e$ ergiebt fich auf der Spur der durch $c,$ parallel zum Normalfchnitt geführten Ebene

als $e_0 e_0$. Wird zwifchen den Punkten c und e des Normalfchnittes noch irgend ein durch d geführter Kreis gelegt, welcher als Leitlinie einer Cylinderfläche angefehen werden kann, fo würde auch d ein Durchftofspunkt von ce mit diefer Cylinderfläche fein. Die wagrechte Projektion desfelben ift d_0.

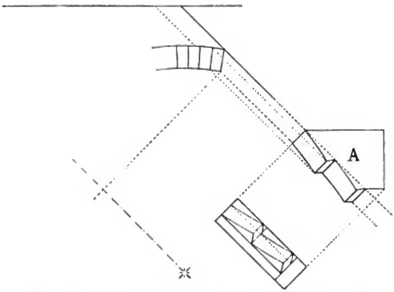
Verfährt man in gleicher Weife mit der Geraden ag, fo erhält man die wagrechten Projektionen der Durchftofspunkte a, f, g in a_0, f_0, g_0. Setzt man diefe Darftellungen fort, fo ergeben fich offenbar in $c_0 a_0$, $d_0 f_0$ und $e_0 g_0$ die wagrechten Projektionen von Schraubenlinien, welche auf den durch c, bezw. a gehenden Lagerfugenflächen liegen.

Diefe Schraubenlinien durchfchneiden die Stirnebene qs des fchiefen Gewölbes in den Punkten a_0, h_0 und i_0. Die lotrechten Projektionen befinden fich bezw. auf den durch a, d und e gehenden Kreifen des Normalfchnittes, find alfo in a, h und i beftimmt. Die Verbindungslinie $a h i$ diefer Punkte ift die lotrechte Projektion der Schnittlinie der Schraubenfläche, welche der durch a gehenden Lagerkante zukommt, mit der Ebene der Gewölbftirn.

Projiciert man diefe Schnittlinie in die Stirnebene S auf bekanntem Wege, fo erhält man die wirkliche Geftalt $a_{,,} h_{,,} i_{,,}$ derfelben.

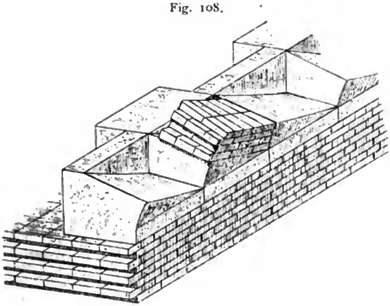
Wendet man das angegebene zeichnerifche Verfahren auch für die durch k gehende Lagerkante an, fo erhält man in $k_{,,} l_{,,}$ die zugehörige Schnittlinie und in dem ebenen Flächenftücke $a_{,,} h_{,,} i_{,,} l_{,,} k_{,,}$ die nötige vordere Brettung für den hier gewählten Stirnftein.

Fig. 107.



Die Beftimmung der Brettungen für die Kämpferfteine wird, nachdem die Projektionen derfelben ermittelt find, foweit dabei die Anfätze für die Wölbfteine in Frage kommen, nach den für diefe Steine gegebenen Vorfchriften bewirkt. Die übrigen Begrenzungsflächen ergeben fich als Ebenen, welche unmittelbar nach den Projektionen derfelben feftgelegt werden können. Bei nicht fehr breiten Wölbfteinen läfst man zweckmäfsig zwei Wölbfcharen gegen einen Kämpferftein A treten, welcher alsdann, wie Fig. 107 zeigt, eine dementfprechende Länge erhält.

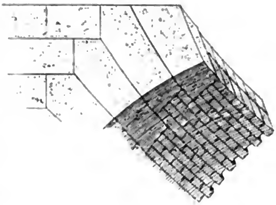
Fig. 108.



Schiefe Gewölbe, welche vollftändig aus Haufteinen hergeftellt werden follen, find infolge der erheblicheren, durch die befondere Geftalt der Wölbfteine entfpringenden Steinhauerarbeiten nicht billig. Um die Koften für fchiefe Gewölbe zu vermindern, können diefelben auch aus Backfteinmaterial ausgeführt werden, wobei jedoch unter fonftiger Beobachtung

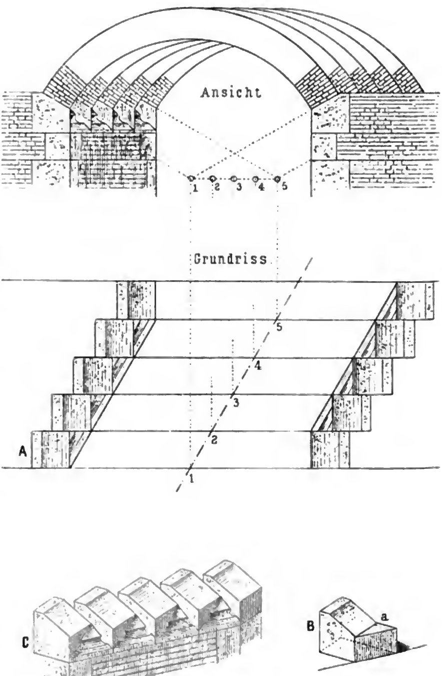
des englifchen oder auch des franzöfifchen Fugenfchnittes, zur Vermeidung des häfslichen und unzweckmäfsigen Verhauens der Backfteine an den Kämpfern und den Häuptern, fowohl die Kämpferfteine als auch die Stirnfteine am ratfamften aus Quadern, wie in Fig. 108 u. 109 angegeben, angefertigt werden. Zwifchen den zufammengehörigen Kämpfer- und Stirnfteinen find alsdann die aus Backftein beftehenden Wölbfcharen in regelrechtem Verbande in gewöhnlicher Wölbweife einzubringen.

Fig. 109.



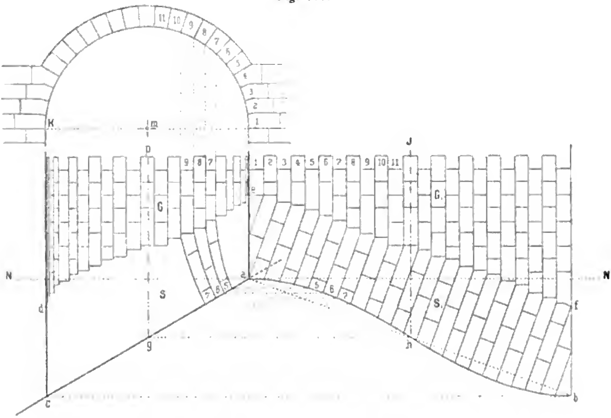
Um die Schwierigkeiten, welche bei der Ausführung von fchiefen Gewölben in gewiffem Grade immer entftehen, zu befeitigen, können verfchiedene mehr oder weniger gute Aenderungen in der Gewölbebildung derfelben vorgenommen werden. Die einfachfte Anordnung zum Umgehen des regelrechten Wölbens fchiefer Gewölbe befteht nach Fig. 110 darin, dafs man einzelne parallel zur Stirn geftellte Gurtbogen *1, 2* u. f. f. als kurze gerade Tonnengewölbe nebeneinander ausführt, welche unter fich eine Verbindung durch eiferne Anker erhalten. Die gefamte Laibungsfläche diefer Gewölbebildung zeigt alsdann fichelartige lotrechte Flächen neben den cylindrifchen Flächen der Gurte, wodurch kein befonders fchönes Ausfehen entfpringt. Zweckmäfsig werden die Kämpfer-

Fig. 110.



fteine *A* auch bei folchen Anlagen aus Werkftücken angefertigt, welche entweder, wie bei *B*, mit der dreieckigen wagrechten Fläche *a* belaffen oder, wie bei *C*, mit einem Eckauslauf verfehen werden. In langen fchiefen Gewölben kann vorteilhaft bei Quadermaterial, wie Fig. 111 giebt, an den Stirnen ein Stück *S* als fchiefes Gewölbe mit richtigem englifchen oder, wenn man will, mit franzöfifchem Fugenfchnitt ausgeführt und hiermit ein längeres als gerades Gewölbe angeordnetes Stück *G* in Verbindung gebracht werden. Die Ausmittelung des Steinverbandes ift aus der Zeichnung unter Beachtung der abgewickelten Laibungsfläche des fchiefen Gewölbes erfichtlich. Durch eine derartige Anordnung wird an den Koften für das Bearbeiten der Wölbfteine erheblich gefpart.

Fig. 111.

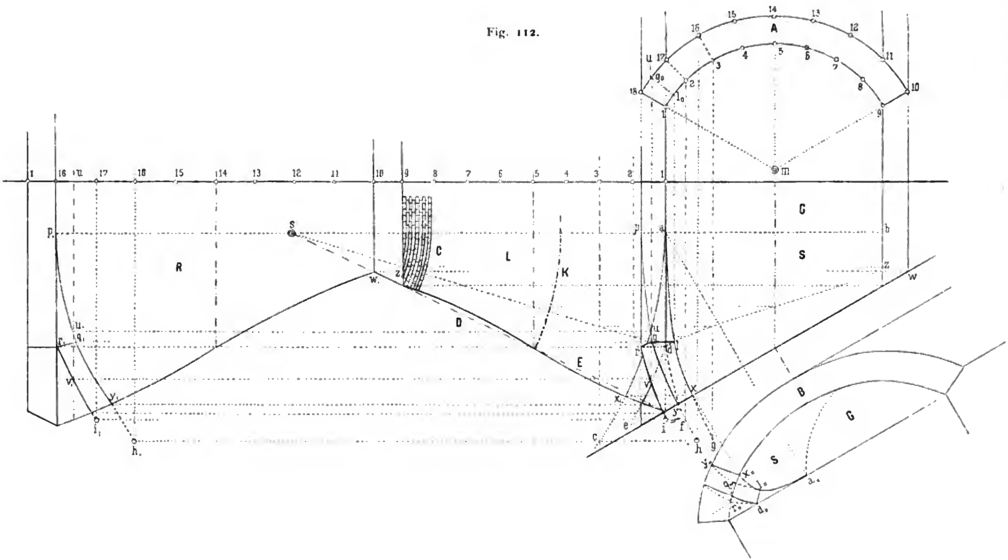


Soll das Stück des geraden Gewölbes *G* aus Backftein ausgeführt werden, während die fchiefen Quadergewölbe *S* bleiben, fo erwachfen dabei keine Schwierigkeiten.

Bei längeren fchiefen Gewölben, welche vollftändig aus Backfteinmaterial ausgeführt werden follen, ift ein Verband anzuordnen, welcher in Fig. 112 näher gekennzeichnet ift.

Wieder ift an den Häuptern ein kürzeres Stück *S* eines fchiefen Gewölbes, dazwifchen aber ein längeres Stück *G* eines gewöhnlichen geraden Gewölbes angeordnet. Die Lagerkanten der fchiefen Gewölbeteile bilden in der Abwickelung *L* der Laibungsfläche des Gewölbes mit dem Kreisbogen *K* konzentrifche Kreisbogen *C*. Der gemeinfchaftliche, auf der Fläche *L* liegende Mittelpunkt *s* diefer Kreisbogen ift der Schnittpunkt der verlängerten Grenzlinie *a b* des geraden Gewölbes *G* und der weiter geführten Sehne *D E* der abgewickelten Stirnlinie des fchiefen Gewölbes *S*. Die Stofskanten der fchiefen Gewölbftücke find auf der abgewickelten Laibungsfläche in geraden Linien enthalten, welche einer radialen Richtung *s a*, *s d* u. f. f. folgen. Auf die Wölbfläche zurückgefchlagen, liegen die Stofskanten auf durchweg verfchiedenen Schraubenlinien, wovon eine *d z* derfelben, entfprechend *d z*, der Abwickelung, gezeichnet ift. Die auf die Wölbfläche zurückgebrachten kreisförmigen Lagerkanten bilden befondere Kurven, welche

Fig. 112.



wie $a\,g$, entfprechend dem Kreisbogen $a\,c$ der Abwickelung, oder wie $d\,f$, entfprechend dem Kreisbogen $d\,e$, mit Hilfe der Cylindererzeugenden *1, 2, 3*, wie aus der Zeichnung erfichtlich ift, beftimmt werden können. Die Erzeugenden der Lagerfugenflächen find gerade Linien, welche in jedem Punkte der Lagerkante ftreng genommen normal zur Laibungsfläche des cylindrifchen Gewölbes ftehen follen. So ift z. B. für den Punkt l, deffen lotrechte Projektion l_0 ift, die Gerade $l_0\,q_0$, welche nach dem Mittelpunkte m des Normalfchnittes des Gewölbes gerichtet wird, eine folche Erzeugende. Da diefelbe in einer rechtwinkelig zur Gewölbachfe ftehenden Ebene liegt, fo erhält man ihre wagrechte Projektion in $l\,q$ und hierdurch die Projektion einer etwa hier vorhandenen Stofsflächenkante eines Backfteines. In gleicher Weife ift $d\,r$ beftimmt. Ermittelt man auf dem fchon früher in Fig. 35 angegebenen Wege die den Lagerkanten $a\,g$, $d\,f$ zugehörigen Rückenlinien $p\,q\,y\,h$, bezw. $r\,v\,i$, fo ift die wagrechte Projektion der Lagerfugenflächen für diefe Lagerkanten zu erhalten.

Bringt man die Rückenlinien in die abgewickelte Rückenfläche des Gewölbes R' zurück, was mit Hilfe der Erzeugenden *16, 17, u, 18* der Cylinderfläche leicht gefchehen kann, fo ergiebt fich die allgemeine Anordnung des Fugenfchnittes im fchiefen Gewölbe S, wobei die Stofsfugenkanten $d\,l$, $q\,r$, Schraubenlinien folgend, fich ebenfalls in einfacher Weife ermitteln laffen.

In der Stirnanficht B find die Kurven $a_{{\prime\prime}}\,l_{{\prime\prime}}\,x_{{\prime\prime}}$ und $q_{{\prime\prime}}\,y_{{\prime\prime}}$, den Kantenlinien $a\,l\,x$, bezw. $q\,y$ entfprechend, eingetragen.

Wenngleich die hier gegebenen zeichnerifchen Darftellungen bei der Berückfichtigung von Backfteinmaterial mehr in den Hintergrund treten können, fo ift doch befonders darauf Rückficht zu nehmen, fobald die in der Zeichnung behandelte Verbandart und Gewölbeanordnung für eine Quaderausführung in den fchiefen Gewölbeteilen in Anwendung kommen foll, zumal eine folche Löfung eine fchönere Geftaltung des gefamten Gewölbes zuläfst, als folche nach Fig. 111 möglich ift.

Für eine faubere und tadellofe Ausführung der fchiefen Gewölbe ift eine gute gefchloffene Schalung der parallel zur Stirn aufgeftellten Lehrbogen herzurichten. Auf diefer Schalung find die Fugenlinien der Wölbfteine vorzureifsen. Diefes Aufzeichnen der Fugenlinien mit Hilfe eines biegfamen Lineals (Blechftreifen) und des gebräuchlichen Winkeleifens wird namentlich beim englifchen Fugenfchnitt fehr einfach, fobald unter Benutzung einer gefärbten Schnur auch die erzeugenden geraden Linien der cylindrifchen Wölbfläche, welche den einzelnen Fugenlinien nach Ausweis der Zeichnung in beftimmten Punkten angehören, mit aufgefchnürt werden. Diefen aufgezeichneten Fugenlinien folgend, werden die in den Schichten entfprechend bezeichneten Gewölbquader forgfam verfetzt. Bei fchiefen Backfteingewölben werden natürlich die Fugenlinien nur gruppenweife für eine gröfsere Zahl von nebeneinander liegenden Wölbfcharen aufgeriffen.

Die Ausführung der einhüftigen Tonnengewölbe richtet fich genau nach der Bauweife, welche für das einfache gerade Tonnengewölbe angegeben ift. Da bei den einhüftigen Gewölben gefchloffene Stirnmauern meiftens fehlen oder doch nur als Blendmauern ab und an eingefügt auftreten, fo kommt bei diefen Gewölben, gleichgültig welches Material auch zur Einwölbung benutzt wird, wefentlich der gewöhnliche Verband auf Kuf in Anwendung. 54. Einhüftige Gewölbe.

12. Kapitel.

Kappengewölbe.

(Preuſsiſche Kappen.)

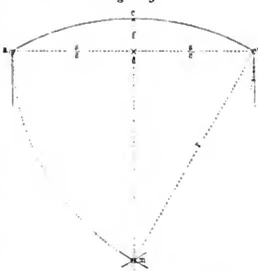
a) Geſtaltung der Kappengewölbe.

55. Geſtalt.

Das Kappengewölbe oder die preuſsiſche Kappe iſt im allgemeinen der obere Abſchnitt eines geraden Tonnengewölbes. Seine Laibungsfläche iſt demnach ein Teil der halben Oberfläche eines geraden Kreiscylinders, ſo daſs die Wölblinie ein flacher Kreisbogen wird. Das Pfeilverhältnis dieſer Wölblinie iſt ſtets gering, ſo daſs danach dieſes Gewölbe als ein ſog. flachbogiges auftritt. Für dieſes Pfeilverhältnis iſt im Hochbauweſen $\frac{1}{12}$ bis $\frac{1}{7}$ in Anwendung gekommen.

Zweckmäſsig wird aber die Wölblinie ſo genommen, daſs die Pfeilhöhe derſelben $\frac{1}{8}$ der Spannweite beträgt oder, was nahezu dasſelbe iſt, wenn die Wölblinie als Kreisbogen beſchrieben wird, deſſen Halbmeſſer nach Fig. 113 gleich der Spannweite des zu bildenden Kappengewölbes iſt.

Fig. 113.



Die Rückenlinie der meiſtens nur ½ bis 1 Backſtein ſtarken Kappengewölbe, die kurz auch nur »gerade Kappen« oder »Kappen« genannt werden, iſt in der Regel ein mit der inneren Wölblinie konzentriſch beſchriebener Kreisbogen.

Von anderen geſetzmäſsig gebildeten krummen Linien macht man für die Wölblinien der Kappengewölbe keinen Gebrauch. Auch die Spannweite derartiger Gewölbe, welche von vornherein in das Bauweſen eingeführt ſind, um bei den für Hochbauten damit zu ſchaffenden Decken eine möglichſt geringe Konſtruktionshöhe zu erzielen, iſt auf geringe Abmeſſungen bis höchſtens auf etwa 5 m zu beſchränken.

Hieraus ergiebt ſich, daſs die Geſtaltung des Kappengewölbes, welches, weil es vielfach in Preuſsen ſtatt des Tonnengewölbes zur Deckenbildung für Kellerräume, Gänge, Geſchäftszimmer u. dergl. in Anwendung gekommen iſt und noch benutzt wird, auch »preuſsiſche Kappe« genannt wird, eine äuſserſt einfache iſt.

56. Ueberwölbung gröſserer Räume.

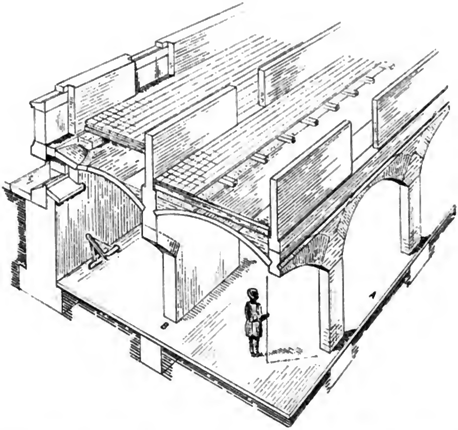
Soll ein gröſserer Raum mit Kappengewölben überdeckt werden, ſo ſind bei der verhältnismäſsig eng begrenzten Spannweite derſelben mehrere Gewölbjoche zu bilden (Fig. 114), welche ſich gegen beſonders herzurichtende, den Raum, bezw. die Decke trennende Tragkonſtruktion *A*, *B* und ſchlieſslich in den beiden äuſserſten Jochen oder Feldern gegen die Umfangsmauern des Raumes legen.

Dieſe eingefugten, wiederum als Widerlager der einzelnen nebeneinander liegenden Kappengewölbe auftretenden Zwiſchenkonſtruktionen können ſein:

1) volle Mauern;

2) kleinere und ſchmalere flachbogige oder tonnengewölbartige Bogenſtellungen, ſog. Gurtbogen, deren Achſen rechtwinkelig zu den Achſen der Kappengewölbe ſtehen;

Fig. 114.



3) eiferne Träger, welche parallel mit den Gewölbachfen laufen und nur an den Enden aufruhen oder auch noch zwifchen den Endauflagern durch Säulen oder andere Freiftützen, unter Umftänden auch durch Unterzüge unterftützt find (fiehe auch unter A, Kap. 1, unter a u. b).

Diefe Anordnungen geftatten für die Gefamtgeftaltung der Kappengewölbe über gröfseren Räumen dennoch eine möglichft freie Benutzung derfelben und namentlich bei der geringen Konftruktionshöhe folcher Gewölbzüge auch die Anlage entfprechend hoher Licht- bezw. Thüröffnungen in den Umfangsmauern des zu überdeckenden Raumes, nicht allein in den rechtwinkelig zu den Gewölbachfen ftehenden Schildmauern, fondern auch in den eigentlichen Widerlagsmauern. Hierdurch bietet in diefer Beziehung das Kappengewölbe dem Tonnengewölbe gegenüber grofse Vorteile. Werden dennoch auch bei Kappengewölben für die Licht- oder Thüröffnungen unter Umftänden Stichkappen erforderlich, fo gilt für diefe das fchon beim Tonnengewölbe in Art. 14 (S. 21) Mitgeteilte. Von einer eigentlichen Gliederung der Kappengewölbe durch Stichkappen hat man nicht zu fprechen.

b) Stärke der Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

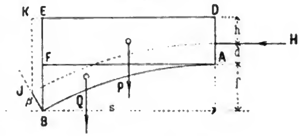
Die Stabilitätsunterfuchungen der Kappengewölbe und ihrer Widerlager weichen in ihren Grundlagen von denjenigen der Tonnengewölbe nicht ab, gleichgültig ob die Kappengewölbe, was allerdings felten der Fall ift, unbelaftet bleiben oder ob diefelben eine mehr oder weniger grofse Belaftung zu tragen haben, und es kann in diefer Beziehung auf das bereits im vorhergehenden Kapitel (unter b) Gefagte verwiefen werden. Da aber in der Praxis die Widerlagsmauern der Kappengewölbe nicht immer eine folche Stärke erhalten können, dafs diefelben fähig find, namentlich

57. Prüfung der Gewölbftärke

wenn ihnen eine bedeutendere Höhe nicht gegeben werden kann, dem Gewölbſchube ohne weiteres in erwunſchtem Grade und mit Sicherheit den nötigen Widerſtand zu leiſten, ſo nimmt man in ſolchen Fällen auf eine beſondere Sicherung der Widerlager gegen die nachteiligen Einwirkungen des Gewölbſchubes Rückſicht. In der Regel wird dieſe Sicherung der Widerlager durch eiſerne Anker (Zugſtangen, Schlaudern, Schlieſsen) bewirkt. Dieſelben werden in gewiſſen Entfernungen voneinander in rechtwinkeliger Richtung zur Achſe der Kappengewölbe, und zwar am beſten wagrecht durch die Kämpferpunkte, eingeführt. Sie ſollen in möglichſt erreichbarem Grade eine gegenſeitige Verſpannung der einander gegenüber liegenden Widerlagsmauern und hierdurch eine gröſsere Standfähigkeit derſelben veranlaſſen.

Für die Beſtimmung des Querſchnittes der Ankerſtangen iſt der Horizontalſchub der Kappengewölbe zunächſt maſsgebend. Derſelbe könnte nach Gleichung 62 (S. 52) berechnet werden. Bei Kappengewölben, deren Dicke ſelten mehr als eine Backſteinlänge beträgt, kann man jedoch unter Bezugnahme auf Fig. 115 den Gewölbſchub *H*, ſymmetriſche Geſtaltung und Belaſtung mit wagrechter Abgrenzung, ſowie eine Einwölbung auf Kuf für das Gewölbe vorausgeſetzt, nach einem vereinfachten Ausdrucke ermitteln. Hierbei wird das über der meiſtens unter einem groſsen Winkel β zur Wagrechten geneigten Kämpferfuge ruhende Stück *BEJK* der geſamten Belaſtungsfläche *ADKJB* als verhältnismäſsig ſehr klein vernachläſſigt. Der hierdurch begangene Fehler iſt an ſich geringfügig; er veranlaſst, wie aus Gleichung 62 zu erſehen iſt, einen etwas vergröſserten Wert des Gewölbſchubes *H*, was im vorliegenden Falle bei der Stabilitätsbeſtimmung des Gewölbes und ſeiner Widerlager nur als günſtig zu bezeichnen iſt.

Fig. 115.



Den in Art. 41 (S. 50) für das Tonnengewölbe gegebenen Entwickelungen ganz entſprechend, erhält man alsdann für den Gewölbſchub bei Kappengewölben, bei einer Tiefe gleich der Längeneinheit, den einfacheren Ausdruck

$$H = \frac{s^2}{12\,(d+f)}\,[6\,(d+h)+f] \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.} \qquad 82.$$

Ebenſo ergiebt ſich bei der eingeführten Vereinfachung für die Belaſtungsfläche *ADEFB* der Wert

$$G = s\left(d + h + \frac{f}{3}\right) \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.} \qquad 83.$$

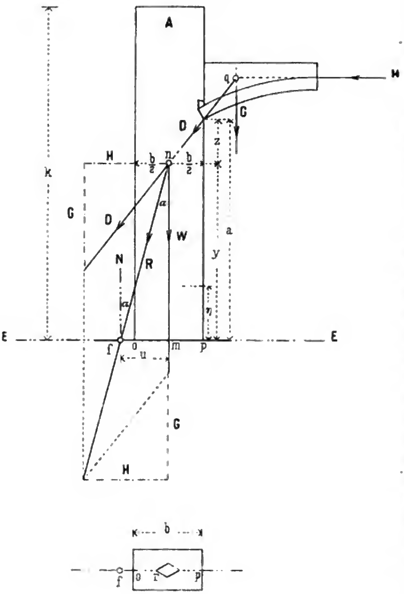
In dieſen beiden Gleichungen bedeuten *s* die halbe Spannweite, *f* die Pfeilhöhe, *d* die Scheitelſtärke und *h* die Höhe der Belaſtung über der Rückenlinie im Scheitellote des Gewölbes (in Met.).

58. Prüfung der Widerlagsſtärke.

Die Berechnung der Widerlagsſtärke würde nach der in Art. 26 (S. 68) gegebenen Gleichung erfolgen können. Da aber bei Kappengewölben die Beſtimmung der Widerlagsſtärke möglichſt ſchnell ſchon beim Entwurfe des Gewölbeplanes vorzunehmen iſt, ſo ſoll hier die dafür maſsgebende Ermittelung in einem anderen Gewande gegeben werden.

In Fig. 116 bezeichne *A* den Höhenſchnitt des Widerlagskörpers, deſſen Länge 1 m beträgt. Der Einfachheit halber und mit der praktiſchen Ausführung auch

Fig. 116.



meiſtens übereinſtimmend, iſt dieſer Höhenſchnitt als ein ſtehendes Rechteck von der Breite b Met. und der Höhe k Met. angenommen.

Der Horizontalſchub H des Gewölbes und das Gewicht G der Gewölbhälfte ſetzen ſich in q zu dem reſultierenden Gewölbdruck D zuſammen. Vereinigt man dieſen Druck in n mit dem Gewichte W des betrachteten Widerlagskörpers zur Mittelkraft R, ſo möge dieſelbe die Ebene EE der feſten und widerſtandsfähigen Grundfläche des Mauerkörpers in einem Punkte f treffen, deſſen Abſtand mf von der Mitte m der Grundfläche allgemein das Maſs u beſitzen möge. Der Neigungswinkel nfN, welchen die Mittelkraft R mit einer zu EE Lotrechten fN einſchlieſst, ſei α. Wie aus der Zeichnung und aus einfachen geometriſchen Beziehungen erſichtlich, iſt ſofort $\frac{u}{y} = \frac{H}{G+W}$, alſo $u = \frac{H}{G+W}\,y$. Nun iſt $y = a - z$ und, da $\frac{z}{\frac{b}{2}} = \frac{G}{H}$, alſo $z = \frac{b\,G}{2\,H}$, auch $y = \frac{2\,a\,H - b\,G}{2\,H}$; ferner iſt bei dem rechtwinkeligen Querſchnitte des Mauerkörpers $W = b\,k$. Unter Benutzung dieſer Werte für y und M wird

$$u = \frac{2\,a\,H - b\,G}{2\,(G + b\,k)} \qquad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 84.$$

In dieſem Ausdrucke iſt a der lotrechte Abſtand der Kämpferlinie von der Ebene EE (in Met.).

Die Gleichung 84 hat aber nur Gültigkeit, wenn die Dichtigkeit des Wölbmaterials und die auf dasſelbe zurückgeführte Belaſtung des Gewölbes der Dichtigkeit des Mauerkörpers vom Widerlager gleich iſt.

Iſt dagegen eine derartige Uebereinſtimmung der Dichtigkeiten, wie recht oft der Fall, nicht vorhanden, ſo iſt, wenn γ die Dichtigkeit für das Wölbmaterial und die Belaſtung, γ_1 dagegen die Dichtigkeit des Materials der Widerlagsmauer be-

zeichnet, zu beachten, dafs H und G mit γ und W mit γ_1 multipliziert werden müffen. Hiernach wird nach Gleichung

$$u = \frac{2aH\gamma - bG\gamma}{2(G\gamma + bk\gamma_1)} = \frac{2aH - bG}{2\left(G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}\right)} \qquad 85.$$

Ift in einem befonderen Falle die Stärke b des Widerlagskörpers gegeben, fo lafst fich nach Gleichung 85 der Abftand $u = mf$ berechnen. Ift alsdann $u > \frac{b}{2}$ gefunden, fo ift kein Gleichgewicht gegen Drehen um die Kante o der Grundfläche des Widerlagers vorhanden; die Abmeffung b ift zu gering.

Ift $u = \frac{b}{2}$ berechnet, fo ift eben der Grenzwert für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen um die Kante o gekennzeichnet; ift endlich $u < \frac{b}{2}$, fo tritt fchon ein Sicherheitsgrad für die Stabilität der Widerlagsmauer ein. Solange $u = \frac{b}{2}$ oder, wie fich bald ergeben wird, gröfser als $\frac{b}{2}$ bleibt, ift auf eine Verankerung der Widerlagsmauern Bedacht zu nehmen.

Je weniger fich das berechnete Mafs u von dem Mafs $\frac{b}{2}$ unterfcheidet, defto geringer find die Entfernungen der Ankerzüge voneinander für das Gewölbe zu wählen, wenn diefelben einen entfprechenden Nutzen für das Verfpannen der Widerlagsmauern gewähren follen.

Der Winkel α endlich mufs, um die Gefahr gegen das Gleiten auf der Grundfläche des Widerlagers zu berückfichtigen, mindeftens gleich oder, der Sicherheit gegen Gleiten halber, kleiner fein als der Reibungswinkel ρ des für das Widerlager benutzten Mauermaterials.

Aus der Zeichnung ergiebt fich

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{H}{G + W} = \frac{u}{y}$$

oder, unter Berückfichtigung der befonderen, vorhin angeführten Dichtigkeiten der Bauftoffe und da $W = bk$, auch

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}} \qquad 86.$$

Soll $\sphericalangle\,\alpha < \sphericalangle\,\rho$, d. h. $\sphericalangle\,\rho > \sphericalangle\,\alpha$ fein, fo ift auch $\text{tg}\,\rho > \text{tg}\,\alpha$, d. h.

$$\text{tg}\,\rho > \frac{H}{G + bk\frac{\gamma_1}{\gamma}},$$

mithin $\text{tg}\,\rho \,.\, G + \text{tg}\,\rho\,\frac{k\gamma_1}{\gamma}\,b > H$; folglich mufs auch

$$b > \frac{H - \text{tg}\,\rho \,.\, G}{\text{tg}\,\rho \,.\, k\frac{\gamma_1}{\gamma}} \qquad 87.$$

fein. Fände diefe Beziehung bei einem gegebenen Werte von b nicht ftatt, fo

würde die Gefahr des Gleitens des Widerlagskörpers eintreten, felbft wenn das berechnete Mafs von u kleiner als $\frac{b}{2}$ gefunden wäre.

Will man für eine andere wagrechte Schnittfuge unterhalb der Kämpferlinie des Gewölbes in der Widerlagsmauer die Stabilität gegen Drehen und gegen Gleiten prüfen, fo hat man nur die wagrechte Ebene entfprechend höher zu verlegen und diefer Lagenveränderung gemäfs die in den Gleichungen 85 u. 87 vorkommenden Werte a und k danach zu verkleinern. Rückte z. B. die Ebene EE um η Met. höher, fo ginge a in $a_1 = a - \eta$ und k in $k_1 = k - \eta$ über.

Derartige Unterfuchungen find bei Widerlagsmauern nicht zu unterlaffen, fobald Durchbrechungen derfelben, wie bei Thür- und Lichtöffnungen vorkommen.

Noch möge bemerkt werden, dafs unter Einführung verfchiedener Werte für η die zugehörigen berechneten Gröfsen von u auch Punkte in den wagrechten Lagerfugen der Widerlagsmauer liefern, welche der Mittellinie des Druckes in diefem Stützkörper zukommen.

Die Gleichung 85 ift aber weiter zu benutzen, wenn für eine Anlage von Kappengewölben eine Breite b der im Höhenfchnitt rechteckigen Widerlagsmauer gefunden werden foll, welche einen beftimmten Grad von Stabilität gegen Drehen befitzt. Setzt man in derfelben allgemein $u = n b$, unter n irgend einen echten Bruch verftanden, fo erhält man den Ausdruck

$$2 n k \frac{\gamma_1}{\gamma} b^2 + (2 n + 1) G b = 2 a H.$$

Die Auflöfung diefer Gleichung für b liefert

$$b = \frac{1}{4 n k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left[- (2 n + 1) G \mp \sqrt{16 n k \frac{\gamma_1}{\gamma} a H + (2 n + 1)^2 G^2} \right] \quad . \quad . \quad 88.$$

In derfelben ift das pofitive Vorzeichen der Wurzelgröfse zu verwenden.

Für $n = \frac{1}{2}$, alfo für $u = \frac{b}{2}$ wird

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(- G + \sqrt{2 k \frac{\gamma_1}{\gamma} a H + G^2} \right).$$

Bei diefer Breite b geht die Mittelkraft R durch den Punkt o der Grundfläche der Widerlagsmauer. Das Syftem befindet fich im Grenzzuftande des Gleichgewichtes gegen Drehen.

Für $n = \frac{1}{6}$ wird $u = \frac{b}{6}$ und

$$b = \frac{1}{k \frac{\gamma_1}{\gamma}} \left(- 2 G + \sqrt{6 k \frac{\gamma_1}{\gamma} a H + 4 G^2} \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 89.$$

Bei diefer Abmeffung von b trifft die Mittelkraft die Achfe op des rechteckigen Querfchnittes der Fufsfläche des Widerlagers den Grenzpunkt r des inneren Drittels, d. h. den Grenzpunkt des fog. Kernes des Querfchnittes, fo dafs nun bekanntlich die vorhandene Breite den ftatifchen Anforderungen entfpricht, vorausgefetzt, dafs Gleichung 87 für das Gleichgewicht gegen Gleiten keine gröfsere Breite vorfchreibt.

Ergiebt fich die Breite b für $n = \frac{1}{6}$ auch hiernach als ausreichend, fo ift bei fonft guter Ausführung, bei widerftandsfähigem Material und bei günftigem Verlauf der Mittellinie des Druckes in der Gewölbfläche und im Höhenfchnitte des Widerlagers, das Anbringen von Zugankern überflüffig.

59. Berechnung der Verankerungen.

Die Verankerung foll aber angebracht werden, wenn der Schnittpunkt von R mit der Achfe op zwifchen o und r fällt. Schneidet die Mittelkraft R die verlängerte Achfe op aufserhalb der Mauerkante, fo foll eine Verftärkung der Widerlagsmauer an fich vorgenommen werden, bis jener Angriffspunkt von R mindeftens nahe bei o in die Grundfläche tritt, da für den ficheren Beftand der Mauer einer Verankerung derfelben allein eine zu grofse Wirkung nicht zugemutet werden kann, wenn dabei nicht noch befondere Vorkehrungen getroffen werden.

Die Zuganker können nur in gewiffen Entfernungen, nicht dicht nebeneinander liegend, angebracht werden. Das Gefetz für die Verteilung des Gewölbfchubes an dem zwifchen den Angriffsftellen der Verankerung liegenden Mauerkörper ift nicht vollftändig bekannt, fo dafs eine fcharfe Beftimmung der Beanfpruchung, welche jener Mauerkörper durch den Gewölbfchub und durch die in beftimmten Abftänden eingeführte Verankerung erleidet, augenblicklich noch nicht möglich ift. Würde der Gewölbfchub aber z. B. durch widerftandsfähige eiferne Träger für gegebene Gewölblängen auf beftimmte, einander gegenüber liegende fefte Stützpunkte der beiden Widerlagsmauern übertragen und alsdann eine Verankerung diefer Stützpunkte vorgenommen, fo würde durch eine derartige Vorkehrung eine gänzliche oder teilweife Entlaftung des zwifchen den Stützpunkten liegenden Mauerkörpers vom Gewölbfchube herbeigeführt. Diefer Teil des Widerlagers würde dann mehr oder weniger nur als einfache Begrenzungsmauer auftreten. Bei fehr fchwachen Widerlagsmauern der Kappengewölbe ift das Anbringen eiferner Träger ratfam. In der Praxis find diefelben mehrfach in Anwendung gekommen. Bei folchen Anlagen ift auch die Berechnung der Träger und der zugehörigen Ankerverbindung ohne erhebliche Schwierigkeiten durchzuführen.

Werden diefe Vorkehrungen nicht getroffen, fo ift für die Berechnung der Zuganker immer nur ein Näherungsverfahren einzufchlagen, welches in feinen Ergebniffen für die praktifche Ausführung zweckmäfsige Werte liefert.

Der Querfchnitt der Zug- oder Ankerftangen ift in den weitaus meiften Fällen eine Kreisfläche. Nur wenn befondere Verhältniffe eine Verbindung folcher Anker mit anderen Bauteilen erfordern oder wenn beftimmte gröfsere Längen diefer Anker durch volles Mauerwerk geführt werden müffen, erhalten diefelben für diefe Längen wohl einen flachen rechteckigen Querfchnitt, welcher an den Enden wieder in den kreisförmigen übergeht.

Da die Hauptaufgabe diefer Anker darin befteht, die nachteiligen Wirkungen des Gewölbfchubes auf die Widerlager möglichft zu vermindern und zu diefem Zwecke eine möglichft kräftige gegenfeitige Verfpannung derfelben hervorzurufen, fo ift auf eine entfprechend ftarke Verbindung der Zuganker mit dem Mauerwerkskörper felbft Bedacht zu nehmen. Diefe Verbindung erfolgt durch fog. Ankerfplinte oder weit beffer durch Ankerplatten. Die Ankerfplinte beftehen aus Flacheifen, welche durch Oefen greifen, die an den Enden der Zugftangen ausgefchmiedet find. Die Ankerplatten find gufseiferne Platten mit quadratifcher oder kreisförmiger Grundfläche. Der Querfchnitt derfelben ift rechteckig oder beffer trapezförmig, ab

und zu auch gerippt. Sind die Ankerplatten, wie in der Regel der Fall, aufsen vor der Widerlagsmauer in freier Lage anzubringen, fo ift die gerippte Ankerplatte weniger empfehlenswert, weil die vorfpringenden Rippen das Anfammeln von Feuchtigkeit oder das Auflagern von Schnee zulaffen, wodurch nach und nach die Platten gefchädigt werden. Am beften wird für die hier vorliegenden Zwecke der trapezförmige Querfchnitt gewählt. Die Enden der Ankerftangen werden durch eine in der Mitte der Platte angebrachte Oeffnung geführt und durch eine geeignete Keil- oder Schraubenverbindung mit den Platten verknüpft.

Eine weitere wefentliche Forderung für das Herbeiführen einer tüchtigen Verankerung der Widerlager geht dahin, dafs fowohl die Ankerfplinte wie auch die Ankerplatten eine thunlichft grofse Mauerfläche, bezw. möglichft viele Steinfchichten der Widerlagsmauer faffen, um hierdurch die Uebermittelung des Gewölbfchubes auf eine gröfsere Fläche und die Verfpannung eines gröfseren Mauerkörpers zu bewirken. Diefer Forderung wird, wie an fich klar, weit beffer durch Ankerplatten, als durch die hochkantig aufliegenden Ankerfplinte genügt, da erfteren felbft bei nicht fehr grofsen Seitenabmeffungen eine weit gröfsere Lagerfläche gegeben werden kann, als den letzteren, welchen etwa nur 40 bis 60 cm Länge zugewiefen werden.

Sollen Ankerfplinte zur Verwendung kommen, fo giebt man denfelben bei ftarker Beanfpruchung der Zugftangen zweckmäfsig eine von den Oefen diefer Stangen ausgehende äfteartige Ausbreitung in Form von Buchftaben, Zahlen oder fonft entfprechend gebildeten Ornamenten, wie in Teil III, Band 1 (Abt. 1, Abfchn. 3, Kap. 5) diefes »Handbuches« näher angegeben ift.

Werden die Zuganker an den Enden mit Schraubengewinden verfehen, fo find unter Berückfichtigung des Umftandes, dafs beim kräftigen Anziehen der Schraubenmutter leicht eine Beanfpruchung der Enden der Ankerftange auf Torfion entftehen kann, für die Berechnung der Zugftangen die an der eben bezeichneten Stelle diefes »Handbuches« entwickelten Gleichungen 116 u. 117 (S. 152[12]) zu benutzen. Bezeichnet d' den inneren, d den äufseren Gewindedurchmeffer und d'' den äufseren Durchmeffer der Zugftange (in Centim.), fo ift

$$d'' = (1{,}173\, d' + 0{,}128)\ \text{Centim.}; \qquad 90.$$

$$d = (1{,}139\, d' + 0{,}103)\ \text{Centim.}, \qquad 91.$$

und hierin

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{P} \qquad 92.$$

zu nehmen.

In Gleichung 92 bezeichnet P die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerftange aufzunehmen hat.

Die Beanfpruchung der Ankerftange durch Biegung, hervorgerufen von ihrem Eigengewicht, ift hier als gering im Vergleich zur Beanfpruchung durch P ohne weiteres vernachläffigt.

Befitzen die Enden der runden Zuganker Oefen, welche die Ankerfplinte aufzunehmen haben, fo find die Oefen in ihren Abmeffungen, wie in Art. 231 (S. 159[13]) des gedachten Bandes diefes »Handbuches« angegeben ift, zu berechnen.

---

12) 2. Aufl.: Gleichungen 139 u. 140 (S. 161). — 3. Aufl.: Gleichungen 147 u. 148 (S. 164).

13) 2. Aufl.: Art. 234 (S. 171). — 3. Aufl.: Art. 234 (S. 175).

Unter Verwertung der hierfür entwickelten Gleichungen 135 [14]) iſt

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{s''} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 93.$$

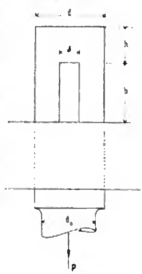
$$d = 2 \sqrt{\frac{P}{\pi s''} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 94.$$

$$b = \sqrt{\frac{P}{\pi t} \cdot \frac{s''}{t} \left(1 + \frac{s''}{s'}\right)} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 95.$$

$$h = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P\pi}{t} \cdot \frac{s''}{t} \cdot \frac{1}{1 + \frac{s''}{s'}}} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 96.$$

Hierin bezeichnet P wiederum die Zugkraft (in Kilogr.), welche die Ankerſtange aufzunehmen hat; s' die zuläſſige Zugſpannung in derſelben, welche zu 800 kg für 1 qcm zu nehmen iſt; s'' den ſog. Lochlaibungsdruck hinter dem Keile, bezw. dem Ankerſplinte gleich 1200 kg für 1 qcm, und t die zuläſſige Scherſpannung in der Oeſe, bezw. im Keile oder im Ankerſplinte, etwa gleich 640 kg für 1 qcm, während δ, d, b, h die aus Fig. 117 zu entnehmenden Bedeutungen für die Oeſe, bezw. für den Keil oder den Ankerſplint haben.

Fig. 117.



Die Länge des Keiles iſt gleich $2\,d$ (Gleichung 94) zu nehmen.

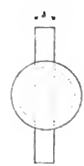
Die Oeſe wird durch Anſtauchen der Enden der Ankerſtange gebildet und dieſe demnach verſtärkt. Dieſe durch d (Gleichung 94) beſtimmte Verſtärkung iſt gröſser als der Durchmeſſer d_0 der eigentlichen Stange. Letzterer iſt zu berechnen aus der Beziehung

$$\frac{\pi}{4} d_0^{\,2} s' = P,$$

ſo daſs

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot \frac{P}{s'}} = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{P}{s'}} \quad \ldots \ldots \quad 97.$$

wird. Ankerſtangen aus Flacheiſen mit dem Querſchnitte $\frac{P}{s'}$ ſind bei der gewählten oder vorgeſchriebenen Eiſendicke δ' nach Gleichung 137 (S. 160 [15]) im angeführten Bande dieſes »Handbuches« zu berechnen.



Hiernach ſind die Abmeſſungen der Oeſe, bezw. des Keiles oder des Ankerſplintes, mit Berückſichtigung der Bezeichnungen in Fig. 118, als

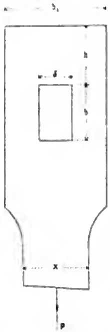
$$\delta = \frac{P}{s''\,\delta'}; \quad b' = \frac{P}{\delta'} \cdot \frac{s' + s''}{s'\,s''} \text{ Centim.}; \quad \ldots \ldots \quad 98.$$

$$b = \frac{\delta'}{2} \frac{s''}{t}; \quad h = \frac{P}{t\,\delta'} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 99.$$

[14]) 2. Aufl.: Gleichungen 161. — 3. Aufl.: Gleichungen 170.

[15]) 2. Aufl.: Gleichung 163 (S. 172). — 3. Aufl.: Gleichung 172.

Fig. 118.



und

$$x = \frac{P}{\delta' \, s'} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \quad 100.$$

zu nehmen.

Fallen die berechneten Abmeffungen für b, d. i. für die lichte Höhe der Oeffnung der Oefe oder für die Höhe des Keiles, wie häufig fich zeigt, unter ein praktifch zuläffiges Mafs, fo hat man den Unterfchied zwifchen dem theoretifchen Mafse und dem wirklich für b zu wählenden praktifchen Mafse dem Werte h hinzuzufügen, während alle übrigen berechneten Abmeffungen unverändert beibehalten werden.

Für die Ankerplatten mit rechteckigem Querfchnitte und quadratifcher oder kreisrunder Grundfläche können die für Grundplatten im bezeichneten Bande diefes »Handbuches« (Art. 276, S. 182[16]) angeführten Gleichungen 142[17]) der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

Hiernach wird, wenn F die Grundfläche diefer Platten (in Quadr.-Centim.) und P wie früher der Ankerzug (in Kilogr.) ift,

für gewöhnliches Backfteinmauerwerk . $F = \frac{P}{7}$ Quadr.-Centim.

» Klinkermauerwerk in Zementmörtel . $F = \frac{P}{12}$ » »

» Mauerwerk aus weniger feften Quadern $F = \frac{P}{20}$ » » . . . 101.

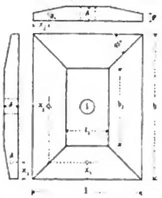
» Mauerwerk aus fehr feften Quadern $F = \frac{P}{45}$ » »

Die Dicke δ in Centim. der Ankerplatten ift

$$\left.\begin{array}{l} \delta = 0{,}055 \sqrt{P} \text{ für quadratifche Platten} \\ \delta = 0{,}05 \sqrt{P} \text{ für kreisrunde Platten} \end{array}\right\} \quad \ldots \ldots \quad 102.$$

Für trapezförmige Ankerplatten wird unter Bezugnahme auf Fig. 119 die im angeführten Bande (2. Aufl.) diefes »Handbuches« auf S. 223 gegebene Gleichung 194[18]) füglich benutzt werden können. Hiernach wird

Fig. 119.



$$\left.\begin{array}{l} \delta_1 = 0{,}1 \; x_1 \sqrt{\dfrac{\sigma_1}{3} \cdot \dfrac{3l - 2x_1}{l - 2x_1}} \text{ Centim.} \\ \delta_2 = 0{,}1 \; x_2 \sqrt{\dfrac{\sigma_1}{3} \cdot \dfrac{3b - 2x_2}{b - 2x_2}} \text{ Centim.} \end{array}\right\} \quad \ldots \quad 103.$$

Die erforderliche Grundfläche F ift nach Abzug der Fläche i für die Oeffnung in der Mitte, durch welche der Zuganker geführt wird, bei einem rechteckigen Auflager, wobei l oder b gewählt werden kann,

$$lb - i = F = \frac{P}{\sigma_1}, \text{ d. h. } lb = \frac{P}{\sigma_1} + i$$

und bei quadratifchem Auflager in der Seitenlänge

$$b = \sqrt{\frac{P}{\sigma_1} + i} \quad \ldots \ldots \quad 104.$$

[16]) 2. Aufl.: Art. 282, S. 197. — 3. Aufl.: Art. 282, S. 202.

[17]) 2. Aufl.: Gleichungen 174. — 3. Aufl.: Gleichungen 184.

[18]) 3. Aufl.: Gleichungen 207, S. 231.

Bei diesen Platten ist $l = b$, so dass eine der Gleichungen 103 zur Berechnung von $\delta_{\prime}$, bezw. $\delta_{\prime\prime}$ zu benutzen ist.

Die Randstärke ρ beträgt passend 2 cm. Die Grösse σ_1 bezeichnet die zulässige Pressung auf das Mauerwerk, gegen welches sich die Platte legt (in Kilogr. für 1 qcm); der Wert hierfür geht aus Gleichung 101 hervor.

Für gerippte Platten, welche aus dem früher angegebenen Grunde hier weniger in Betracht kommen, muss auf den Gang der Berechnung verwiesen werden, welcher im mehrfach erwähnten Bande dieses »Handbuches« in Art. 294 (S. 199[19]) ff. betreten ist.

60. Zugkraft und Zahl der Ankerstangen.

In den für die Verankerung auszuführenden Berechnungen spielt die Grösse P der Zugkraft eine Rolle. Dieselbe hängt vom Gewölbschube und von der Verteilung desselben auf das Gewölbwiderlager ab. Sieht man von peinlich angestellten Untersuchungen ab, deren Ergebnisse doch nur auf mehr oder weniger berechtigten Voraussetzungen beruhen, so kann man unter der Annahme eines für jede Längeneinheit der Widerlagsmauern gleichförmig und stetig verteilten Gewölbschubes die Grösse von P leicht festsetzen, welche für die Zuganker entsteht und für die Stabilität der Widerlagsmauern verwertet werden soll.

Ist L Met. die ganze Länge des Kappengewölbes zwischen den Stirnmauern, H der Gewölbschub für 1 m Länge nach Gleichung 82 (S. 124) und γ das Gewicht des Wölbmaterials in Kilogr. für 1 cbm, so wird der gesamte Gewölbschub

$$P = L H \gamma \text{ Kilogr.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 105.$$

Ist m die Zahl der in bestimmten Abständen zwischen den Stirnmauern einander parallel einzulegenden runden Zuganker, deren Durchmesser je d_0 Centim. beträgt, so ist, wenn s' wie früher die zulässige Zugspannung (in Kilogr. für 1 qcm) bezeichnet,

$$m \frac{\pi}{4} d_0^2 s' = L H \gamma, \text{ d. h.}$$

$$m = \frac{4 L H \gamma}{\pi d_0^2 s'} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 106.$$

Ist d_0 von vornherein in einem praktischen Masse für die Zuganker festgesetzt, so ergiebt sich nach Gleichung 106 die erforderliche Anzahl derselben. In der Regel ist bei gewöhnlichen Kappengewölben d_0 zu $2\frac{1}{2}$, 3 bis höchstens zu 5 cm zu nehmen.

Meistens ist aber die Zahl m vorweg durch die Plangestaltung der Gewölbanlage bestimmt. Liegen dieselben in gleichen Abständen voneinander, so entstehen bei m Zugstangen $m + 1$ Abteilungen der Länge L, und demnach kommt für jede Zugstange eine Kraft $\frac{L H \gamma}{m + 1}$ in Rechnung. Hiernach wird entsprechend Gleichung 106 $\frac{\pi}{4} d_0^2 s' = \frac{L H \gamma}{m + 1}$ oder

$$d_0 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{L H \gamma}{(m + 1) s'}} = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{L H \gamma}{(m + 1) s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \quad 107.$$

Liegen dagegen die Zuganker in Abständen von ungleicher Weite, so ist, wenn l Met. die grösste überhaupt vorkommende Entfernung zwischen zwei Ankerstangen bezeichnet,

$$d_0 = \sim 1{,}13 \sqrt{\frac{l H \gamma}{s'}} \text{ Centim.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 108.$$

---

19) 2. Aufl.: Art. 209 (S. 224). — 3. Aufl.: Art. 302 (S. 235).

zu nehmen. Hierbei ift zu bemerken, dafs derartige ungleich weite Abftände für die Zuganker dem ganzen Syftem weniger zuträglich find und daher thunlichft vermieden werden müffen. Sehr grofse Abweichungen zwifchen den einzelnen Weiten dürfen überhaupt nicht zugelaffen werden. Bei geringfügigen Unterfchieden in diefen Abftänden ift dann für alle Ankerftangen der nach Gleichung 108 für l Met. berechnete Durchmeffer d_0 beizubehalten. Von Wichtigkeit ift bei der Verankerung der Kappengewölbe auch das Anbringen von Zugankern an jeder Stirnmauer, um hierdurch dem erfahrungsgemäfs leicht eintretenden Ausweichen, bezw. Abreifsen der Widerlagsmauern an den Ecken des Raumes möglichft vorzubeugen. Die Entfernungen der Zuganker voneinander follen höchftens 4 m, unter Umftänden weit weniger betragen, weil bei zu grofsen Abftänden der Verankerungen die nicht ausreichend ftarken Widerlagsmauern zwifchen den Ankerzügen fich leicht ausbauchen und Mauerriffe erhalten.

Beifpiel. Ein aus Backftein von der Dichtigkeit 1,6 ausgeführtes Kappengewölbe mit einem Kreisbogen als Leitlinie ift 14,5 m lang; die Spannweite $2s$ desfelben beträgt 3 m, alfo $s = 1{,}50$ m, und die Pfeilhöhe $f = 0{,}40$ m, alfo etwas über $\frac{1}{8}$ der Spannweite. Das Gewölbe ftützt fich gegen Widerlagsmauern, welche ordnungsmäfsig aus feftem Kalkftein von der Dichtigkeit 2,6 ausgeführt find; die Stärke b derfelben beträgt 0,60 m und die Höhe $k = 8{,}20$ m; die Kämpferhöhe a des Gewölbes beträgt 3,00 m. Das Gewölbe ift 1 Stein = 0,25 m ftark, in den Zwickeln mit Backftein ausgemauert und mit einem Bretterfufsboden überlagert. Die Nutzlaft des Gewölbes ift zu 400 kg für 1 qm Grundfläche beftimmt. Diefer nicht ganz geringfügigen Nutzlaft entfprechend, wird die als wagrecht abgeglichene Belaftungsfläche, auf Backfteinmaterial zurückgeführt, zu einer Höhe $h = \frac{400}{1600} = 0{,}25$ m im Scheitellote des Gewölbes gefunden. Vom Zurückführen des Gewichtes des mit Sand unterlagerten Bretterfufsbodens ift hier abgefehen. 61. Beifpiel.

1) Prüfung der Gewölbftärke. Man erhält nach Gleichung 82

$$H = \frac{1{,}5^2}{12\,(0{,}25 + 0{,}4)} \left[6\,(0{,}25 + 0{,}25) + 0{,}4\right] = 0{,}97 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 überfchreitet diefer Wert die für H berechnete Gröfse bei 1 Stein ftarken Gewölben um 0,1 qm, bleibt aber von H für $1\frac{1}{2}$ Stein Stärke um 1,06 qm entfernt. Wird nun das Gewölbe auch etwas ftärker geprefst, als Gleichung 48 angiebt, fo kann diefe etwas gröfsere Preffung bei kleineren Gewölben doch zugelaffen und die Gewölbftärke d zu 1 Stein als genügend angefehen werden.

Nach Gleichung 83 wird

$$G = 1{,}5 \left(0{,}25 + 0{,}25 + \frac{0{,}4}{3}\right) = 0{,}95 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Bei den gegebenen Abmeffungen ift zum Beftimmen des Normaldruckes N in der Kämpferfuge zuvor $\sin \alpha = \frac{s}{r}$ und, da $\frac{f}{s} = \frac{s}{2r - f}$, alfo $r = \frac{f^2 + s^2}{2f}$ ift,

$$\sin \alpha = \frac{2fs}{f^2 + s^2} = \frac{1{,}20}{2{,}41} = 0{,}4979 = \backsim 0{,}5\,,$$

mithin nahezu und hier genau genug $\alpha = 30$ Grad. Hiernach ift zufolge Gleichung 55

$$N = 0{,}97 \cos 30^0 + 0{,}95 \sin 30^0 = 0{,}97 \,.\, 0{,}866 + 0{,}95 \,.\, 0{,}5 = 1{,}315 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Diefer Wert bleibt nach der Tabelle auf S. 62 weit unter der für den Normaldruck N bei einem 1 Stein ftarken Gewölbe berechneten Gröfse. Mithin ift auch in diefer Beziehung die ausgeführte Gewölbftärke hinreichend.

2) Prüfung der Widerlagsftärke. Das Gewicht des Wölbmaterials famt Belaftung ift $\gamma = 1600$ kg für 1 cbm, während das Gewicht des Mauerwerkes vom Widerlager $\gamma_1 = 2600$ kg für 1 cbm beträgt. Unter Benutzung von Gleichung 85 wird

$$u = \frac{2 \,.\, 3 \,.\, 0{,}97 - 0{,}6 \,.\, 0{,}95}{2\left(0{,}95 + 0{,}6 \,.\, 8{,}2 \,.\, \frac{2600}{1600}\right)} = \frac{5{,}25}{17{,}89} = 0{,}293 \text{ m}\,,$$

alfo ganz wenig kleiner als $\frac{b}{2} = \frac{0{,}60}{2} = 0{,}30$ m.

Dieses Ergebnis bedingt eine kräftige Verankerung der Widerlagsmauern.

Für den Gleichgewichtszustand gegen Gleiten muſs bei der Annahme des Reibungswinkels ρ für Kalksteinmauerwerk als $\operatorname{tg} \rho = 0{,}7$ nach Gleichung 87

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \cdot 0{,}95}{0{,}7 \cdot 8{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. h. $0{,}60 > 0{,}326$ sein. Solches ist hier der Fall, mithin ist Sicherheit gegen Gleiten der Widerlagsmauer auf ihrer Grundfläche bekundet.

Für eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Fuge der Widerlagsmauer geht die Gröſse k der Gleichung 87 in $k_1 = k - \eta_1 = 8{,}2 - 3 = 5{,}2$ m über, und nun muſs

$$0{,}60 > \frac{0{,}97 - 0{,}7 \cdot 0{,}95}{0{,}7 \cdot 5{,}2 \cdot \frac{2600}{1600}},$$

d. i. $0{,}60 > 0{,}515$ sein. Auch für diese Fuge ist demnach keine Gefahr in Bezug auf Gleiten vorhanden.

3) Berechnung der Verankerung. Wird die Zahl m der in gleichen Entfernungen voneinander zwischen den Stirnmauern angebrachten Zuganker zu 4 genommen, so ist die Entfernung derselben $l = \frac{14{,}2}{4+1} = 2{,}90$ m und somit die Zugkraft P für dieselbe gleich dem resultierenden Gewölbschube für diese Länge l, d. h. $P = 2{,}9 \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 4500{,}8$ kg, wofür 4500 kg gesetzt werden sollen.

Für diese Beanspruchung würde nach Gleichung 97, worin s' unter Berücksichtigung der Torsion, welche die Ankerstange erleiden kann, gleich 600 kg für 1 qcm gesetzt werden soll, der Durchmesser der Stange

$$d_0 = \backsim 1{,}13 \sqrt{\frac{4500}{600}} = 3{,}09 \text{ cm}.$$

Die Zuganker erhalten aber an ihren Enden Schraubengewinde, deren äuſserer Ring von etwa 1 mm Tiefe nicht als tragfähig gelten kann. Aus diesem Grunde ist zunächst nach Gleichung 92, worin auch $s' = 600$ kg berücksichtigt ist, der innere Durchmesser zu bestimmen als

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{4500} = 0{,}2 + 3{,}086 = 3{,}286 \text{ cm},$$

wofür 3,3 cm genommen werden sollen.

Alsdann wird nach Gleichung 91 der äuſsere Gewindedurchmesser $d = (1{,}139 \cdot 3{,}3 + 0{,}103) = 3{,}86$ cm und endlich nach Gleichung 90 der Durchmesser der Zugstange selbst

$$d'' = 1{,}173 \cdot 3{,}3 + 0{,}124 = 3{,}99 \text{ cm},$$

wofür selbstredend 4 cm zu nehmen sind. Dieser Durchmesser ist den Zwischenankern statt des Maſses $d_0 = \backsim 3$ cm zu geben.

Die Ankerstangen an jeder Stirnmauer können, da der für ihre Spannung maſsgebende resultierende Gewölbschub zu $\frac{l}{2} H_1 = \frac{2{,}9}{2} \cdot 0{,}97 \cdot 1600 = 2250$ kg angenommen werden darf, einen geringeren Durchmesser als die Zwischenanker erhalten. Für den inneren Gewindedurchmesser würde nach Gleichung 92

$$d' = 0{,}2 + 0{,}046 \sqrt{2250} = 2{,}38 \text{ cm}$$

und hiernach der Durchmesser der Stange nach Gleichung 90

$$d'' = 1{,}173 \cdot 2{,}38 + 0{,}124 = 2{,}91 \text{ cm},$$

wofür $d'' = 3$ cm zu nehmen ist.

Vielfach giebt man aber in der Praxis diesen Stirnankern denselben Durchmesser, wie den Zwischenankern.

Giebt man den runden Zugankern an ihren Enden Oesen, welche Keile, bezw. Splinte aufnehmen, die dann zweckmäſsig auf Ankerplatten lagern, so sind zur Berechnung derselben die Gleichungen 93 bis 96 und die Gleichung 100 anzuwenden. Man erhält alsdann nach Gleichung 97 den Stangendurchmesser, da s' beim Nichteintreten einer Torsion bei derartigen Ankern gleich 800 kg für 1 qcm gesetzt werden kann,

$$d_0 = 1{,}13 \sqrt{\frac{5400}{800}} = 2{,}91 = \backsim 3 \text{ cm}$$

und nun der Reihe nach entsprechend den Gleichungen 93 bis 96

$$\delta = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{4500 \cdot 3{,}1416}{1200} \cdot \frac{1}{1+\frac{1200}{800}}} = \backsim 1{,}1 \text{ cm},$$

$$d = 2\sqrt{\frac{4500}{3{,}1416 \cdot 1200}\left(1+\frac{1200}{800}\right)} = \backsim 3{,}8 \text{ cm},$$

$$b = \sqrt{\frac{4500}{4{,}1416 \cdot 640} \cdot \frac{1200}{640}\left(1+\frac{1200}{800}\right)} = \backsim 3{,}3 \text{ cm},$$

$$h = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3500 \cdot 3{,}1416}{640} \cdot \frac{1200}{640} \cdot \frac{1}{1+\frac{1200}{800}}} = \backsim 2 \text{ cm}.$$

Ein Vergleich der Ergebniffe der Rechnung fällt hinfichtlich der Zugftangen zu Gunften der zuletzt betrachteten Anordnungen von Oefen mit Keilen aus, da die Anwendung von Ankerftangen mit Schraubengewinden an den Enden einen gröfseren Aufwand an Material für die Verankerung bedingt.

4) Berechnung der Ankerplatten. Sollen quadratifche gufseiserne Ankerplatten mit einfachem rechteckigen Querfchnitte Verwendung finden, fo ift bei der Beanfpruchung $P = 4500$ kg die Dicke derfelben nach Gleichung 102

$$\delta = 0{,}055\sqrt{4500} = 3{,}69 \text{ cm},$$

wofür rund $3{,}7$ cm genommen werden.

Bei runden Zugankern mit Schraubengewinden an den Enden ift die Oeffnung in der Ankerplatte um etwa 2 mm gröfser als der Durchmeffer der Zugftange zu nehmen, fo dafs diefelbe nach der angeftellten Rechnung $4{,}2$ cm betragen würde. Die Grundfläche diefer Oeffnung ift demnach $i = \frac{\pi}{4}\, 4{,}2^2 = \backsim 13{,}85$ qcm.

Hiernach wird unter Benutzung von Gleichung 104

$$b = \sqrt{\frac{4500}{\sigma'} + 13{,}85} \text{ Centim.}$$

Nimmt man für Mauerwerk aus feftem Kalkftein in Kalkmörtel die zuläffige Beanfpruchung σ' für 1 qcm zu 10 kg an, fo ift $b = \sqrt{450 + 13{,}85} = \sqrt{463{,}85} = 21{,}54$ cm oder abgerundet $= 22$ cm.

Da aber die Ankerplatten eine möglichft grofse Fläche der Widerlagsmauer überlagern follen, fo ift es ratfam, die Seitenlänge b diefer Platten zu 30 cm anzunehmen. Alsdann ift die Grundfläche derfelben, welche die von den Zugankern herbeigeführte Preffung auszuhalten hat, gleich $F = (30^2 - 13{,}85) = 886{,}15$ qcm und folglich $\sigma' = \frac{4500}{886{,}15} = \backsim 5$ kg für 1 qcm, eine Beanfpruchung, welche felbft bei weniger feftem Kalkfteinmauerwerk zuläffig ift.

Werden die vorhin berechneten Zugftangen mit Oefen und Keilen zur Ausführung gebracht, fo würden zweckmäfsig diefelben Ankerplatten für die Unterlagerung der Keile, bezw. für die Verankerung benutzt.

Würden ftatt der Ankerplatten Ankerfplinte für die Verankerung genommen, welche zur Erzielung einer möglichft grofsen Auflagerfläche oberhalb der Oefe oder oberhalb und unterhalb derfelben entfprechend geäftet angeordnet werden könnten, fo müfste, wenn aus praktifchen Gründen die Breite ihrer Auflagerfläche ftatt der für den Keil berechneten Breite $\delta = 1{,}1$ cm zu 2 cm gewählt würde, bei der Beanfpruchung $\sigma' = 10$ kg für 1 qcm Mauerfläche die gefamte Länge l der Aefte eines Ankerfplintes gleich $\frac{4500}{10 \cdot 2} = 225$ cm fein, d. h. bei 4 auch in gefchwungenen Linien geführten Aeften würde jeder derfelben oberhalb und unterhalb derfelben rund 57 cm in der Erftreckung meffen. Bei Verminderung diefer erftreckten Länge würde felbftverftändlich die Beanfpruchung σ' des Mauerwerkes wachfen.

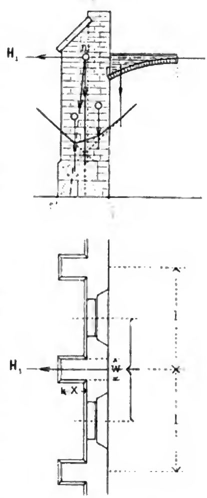
Nach den gemachten Angaben hätte alfo die Durchbildung der Ankerfplinte zu erfolgen.

Zuweilen werden zur Verftärkung der Widerlager für Kappengewölbe und auch wohl für ihr Urfprungsgewölbe, das Tonnengewölbe, Strebepfeiler in gewiffen Entfernungen vor der Widerlagsmauer in Vorfchlag gebracht. Sind, wie bei den Kreuzgewölben fich zeigen wird, Strebepfeiler, bezw. Strebebogen bei folchen Anlagen vorteilhaft am Platze, fo ift dies bei Kappengewölben oder Tonnengewölben weit weniger der Fall. Bei diefen Gewölben ift, wie bereits bei der Verankerung der- 62. Strebepfeiler.

felben gefagt ift, keine Vereinigung des Gewölbfchubes an einzelnen abgegrenzten Teilen der Widerlager vorhanden. Die Vorausfetzungen, welche hinfichtlich der Verteilung des Gewölbfchubes auf eine Widerlagsmauer mit Strebepfeilern zu Grunde gelegt werden, laffen noch Zweifel zu. Obgleich diefer Vorwurf auch die Verankerung treffen mufs, fo ift doch durch folche Anlagen erfahrungsgemäfs eine entfprechende Erhöhung der Standficherheit der mit nicht ganz zureichender Stärke behafteten Widerlagsmauern in verhältnismäfsig einfacher Weife herbeizuführen. Die in der Höhe der Kämpferebene eingezogene Verankerung vermag eine beffere Verfpannung der Widerlagsmauern und eine gröfsere Gegenwirkung für den Gewölbfchub auszuüben als die vorgelegten Strebepfeiler, welche etwa eine erhöhte Standfähigkeit der an fich nicht ganz genügend ftarken Widerlagsmauern der Kappengewölbe vermitteln follen.

Müffen aus befonderen Gründen ftatt der Zuganker Strebepfeiler angeordnet werden, fo ift, unter Beachtung des in Art. 59 (S. 128) für die Unterfuchung der zwifchen den Zugankern liegenden Mauerteile der Widerlager Gefagten, für die Strebepfeiler felbft eine Entfernung von über 4 m von Mitte zu Mitte thunlichft zu vermeiden. Die parallel zur Widerlagsmauer auftretende Breite der Strebepfeiler follte nicht unter 38, bezw. 40 cm betragen. Ihre rechtwinkelig zum Widerlager antretende Dicke ift durch ftatifche Unterfuchung zu beftimmen. Das bei diefer Unterfuchung zu benutzende Verfahren entfpricht im Wefen ganz dem in Art. 24 (S. 57) über die Ermittelung der Stabilität eines Tonnengewölbes und feines Widerlagers Mitgeteilten. Im Befonderen ift hier nur zu berückfichtigen, dafs unter Bezugnahme auf Fig. 120 der für den Körper des Strebepfeilers in Betracht kommende, im Punkte n angreifende refultierende Horizontalfchub $H_1 = lH$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. bei der graphifchen Unterfuchung oder als $H_1 = lH\gamma$ Kilogr. bei der rechnerifchen Ermittelung der Stabilität des Strebepfeilers einzuführen ift. Die Gröfsen H und γ haben die früher angegebene Bedeutung; l ift die Entfernung der Strebepfeiler von Mitte zu Mitte (in Met.).

Fig. 120.



Die Gewichtsbeftimmung vom Körper des einzelnen Strebepfeilers erfolgt felbftredend unter Berückfichtigung der meiftens von vornherein angenommenen Breite w desfelben, einer vorläufig zu wählenden Dicke x und der Dichtigkeit γ_1 des betreffenden Mauermaterials. Bei der graphifchen Methode ift diefes Mauermaterial auf das Gewicht des Wölbmaterials, wie früher befprochen, zurückzuführen. Die für den Höhenfchnitt des Strebepfeilers darzuftellende Mittellinie des Druckes darf die Kernfläche des Querfchnittes desfelben nicht verlaffen; aufserdem mufs das Gleichgewicht gegen Gleiten in bekannter Weife bekundet fein.

Findet die Einwölbung der Kappengewölbe nicht auf »Kuf«, fondern auf »Stich« oder »Schwalbenfchwanz« ftatt, wovon unter *c* das Nähere mitgeteilt wird,

fo entftehen fchmale, nebeneinander liegende Wölbftreifen, Wölbfcharen oder Zonen, welche ihr Widerlager fowohl an den eigentlichen Widerlagsmauern, als auch an den Stirnmauern und endlich auch an den Seitenflächen einzelner Zonen felbft finden.

In jedem Falle treten bei diefer Art der Einwölbung die fämtlichen das Gewölbe begrenzenden Raumteile als Widerlager auf, fo dafs auch die Stirnmauern einem Gewölbfchube ausgefetzt find, welcher hier fogar für die einzelnen Wölbfcharen in verfchiedenen Höhen über der Kämpferebene des Gewölbes angreift und auch in Bezug aufeinander verfchieden grofs ausfällt.

Ift die Leitlinie des Kappengewölbes, wie eigentlich ftets der Fall, ein flacher Kreisbogen, fo ift die Leitlinie jeder einzelnen Wölbfchar ein elliptifcher Bogen, deffen Kämpferpunkte in verfchieden hoch gelegenen wagrechten Ebenen auftreten. Im allgemeinen find demnach, ftreng genommen, die einzelnen Wölbfcharen fchmale einhüftige oder anfteigende Gewölbe, deren Gewölbfchub nach den in Art. 27 (S. 69) gemachten Angaben ermittelt werden kann, wenn dabei nur die Annahme gemacht wird, dafs etwas abweichend von der Wirklichkeit die feitlichen Begrenzungsflächen diefer Wölbfcharen einander parallelen, lotrechten Ebenen angehören, während diefelben, ftreng genommen, in verfchieden zu einander geneigten Ebenen liegen, welche die Laibungsfläche des Gewölbes nach Ellipfenftücken durchfchneiden, deren Grundrifsprojektionen ebenfalls gekrümmt find. Die Abweichung von der Wirklichkeit noch weiter zu treiben und auch Abftand zu nehmen von der Eigenfchaft der Wölbfcharen, wonach diefelben als einhüftige kleine Gewölbe erfcheinen, um diefelben ohne weiteres als fymmetrifch geformte und fymmetrifch belaftete Gewölbe anzufehen, könnte füglich unterlaffen werden, da die ftatifche Unterfuchung einhüftiger Gewölbe nebft ihren Widerlagern keine erheblich zu nennende Schwierigkeiten verurfacht, fofern überhaupt nicht fehr hoch gefpannte theoretifche Entwickelungen angeftellt werden follen.

Eine in dem einfacheren Sinne geführte Unterfuchung eines auf »Schwalbenfchwanz« gewölbten Kappengewölbes ift unter Benutzung des Verfahrens der graphifchen Statik unter Beachtung einhüftig geformter Wölbfcharen in Fig. 121 vorgenommen. Sie foll dazu dienen, namentlich auch einen Einblick in die Einwirkung des Gewölbfchubes auf die Stirnmauern des überwölbten Raumes zu gewinnen; fie foll aber auch durch ihren Gang die nötigen, beachtenswert erfcheinenden Anhaltspunkte gewähren, welche für die fpäter zu berückfichtigende Stabilitätsermittelung der flachen Kloftergewölbe, der Kreuzgewölbe u. f. f. weiter benutzt werden können, zumal der fog. Verband auf »Stich« oder »Schwalbenfchwanz« in der Praxis des Gewölbebaues eine fehr ausgedehnte Anwendung findet.

Es fei *abcd* (Fig. 121) ein rechteckiger Raum von 4 m Breite und 8 m Länge. Derfelbe wird mit einem Kappengewölbe überdeckt, deffen Leitlinie ein Kreisbogen ift, der als fog. Kreuzrifsbogen (Centriwinkel = 60 Grad) befchrieben wurde. Das Pfeilverhältnis ift demnach $\frac{1}{7{,}46}$, alfo etwas mehr als $\frac{1}{8}$.

Betrachtet man den einzelnen Gewölbftreifen *I*, fo erhält derfelbe feine Stützen an der eigentlichen Widerlagsmauer *ac* und in der Mitte der Stirnmauer *ab*. Derfelbe möge innerhalb des Grundriffes des Wölbraumes einen beliebigen Winkel φ mit der Richtung *ab* einfchliefsen. Seine Wölblinie *he* ift ein Teil einer Ellipfe, welche nach der gegebenen Leitlinie des Kappengewölbes beftimmt werden kann. Die Kämpferpunkte *h* und *e* liegen in verfchiedenen wagrechten Ebenen; das Gewölbe felbft befteht nicht aus zwei kongruenten Hälften mit fymmetrifcher Belaftung, ift alfo ein unfymmetrifch geformtes und unfymmetrifch belaftetes Gewölbe oder kurz ein einhüftiges Gewölbe.

Wird die Tiefe desfelben durch zwei parallele lotrechte Ebenen im Abftande gleich der Längen-

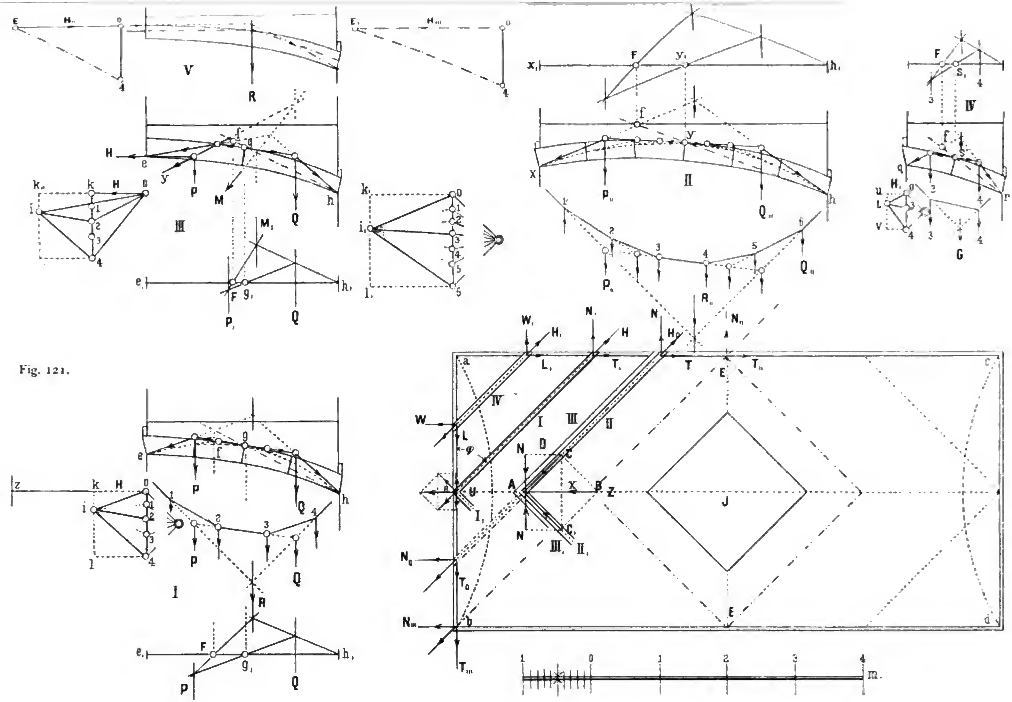


Fig. 121.

einheit begrenzt genommen, fo kann bei gegebener oder gewählter Gewölbftärke und bei feftgefetzter Belaftung, zurückgeführt auf Wölbmaterial, die Stabilitätsunterfuchung des Gewölbftreifens ganz fo vorgenommen werden, wie in Art. 27 (S. 69) mitgeteilt ift. Als Nutzlaft find 320 kg für 1 qm angenommen; die Gewölbftärke ift zu 1 Stein feftgefetzt.

Für die Beftimmung der Mittellinie des Druckes *e g h* wurde im Plane *I* die durch *h* und *g* gelegte Gerade als Polarachfe benutzt. Der in *g* wirkfame Gewölbfchub ergiebt fich als *2 i*, bezw. *i 2* im zugehörigen Kräftepolygon. Die in *e* und *h* auftretenden Drucke der Kämpferfugen beftimmen fich in demfelben Polygon als *o i*, bezw. *i 4*.

Der Druck *H* wird als wagrechte Seitenkraft des Gewölbfchubes *2 i* der Gröfse nach gleich *o k*, bezw. *k o*. Denfelben Wert befitzen auch die wagrechten Seitenkräfte der bezeichneten Kämpferdrücke, welche die Widerlagsmauer und die Stirnmauer treffen. Die lotrechten Seitenkräfte diefer Drücke find *k i*, bezw. *i l*.

In der Zeichnung ift $o k = 0{,}78^{m}$ gefunden und, da die Bafis *o z*, welche für die Verwandelung der Belaftungsfläche des Gewölbes benutzt wurde, gleich 2^{m} ift, fo wird

$$H = 2 \cdot 0{,}78 = 1{,}56 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Diefem Werte von *H* entfpricht nach der auf S. 62 enthaltenen Tabelle eine Gewölbftärke von 1 Stein bis $1\frac{1}{2}$ Stein. Da aber nach einer vorgenommenen Prüfung der gröfste Normaldruck *N* für die Kämpferfuge *h* nur $2 \cdot 0{,}88 = 1{,}76$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. beträgt, fo wird hierfür nach der angeführten Tabelle eine Gewölbftärke von 1 Stein ausreichend. Bei Kappengewölben kann diefer Wert von *N* Berückfichtigung finden, und dieferhalb ift die Gewölbftärke mit 1 Stein gelaffen. Diefelbe kann durchgängig beibehalten werden, weil innerhalb des Wölbgebietes *a E J U* kein einziger mit *I* parallel laufender Wölbftreifen eine gröfsere Spannweite als *I* felbft erhält. Dasfelbe gilt auch für die übrigen Wölbgebiete, welche diefelbe Anordnung der Wölbftreifen erfahren, wie das bezeichnete Gebiet.

Für den mit *I* zufammentretenden Streifen I_1, welcher vollftändig der Gewölbzone *I* entfpricht, entfteht derfelbe Gewölbfchub $H = 1{,}56$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.

Die Dicke diefer Streifen ift aber nicht 1^{m}, fondern nur gleich einer Backfteindicke, alfo gleich $0{,}065^{m}$; mithin kommt für jeden Streifen nur ein Horizontalfchub von $1{,}56 \cdot 0{,}065 = \sim 0{,}1$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. oder bei einem Gewicht des Wölbmaterials von 1600^{kg} für 1 cbm von $1600 \cdot 0{,}1 = 160^{kg}$ in Betracht.

Erfetzt man diefe beiden Kräfte je für fich durch zwei Seitenkräfte, welche in der Richtung der Scheitellinie *U J* des Gewölbes und rechtwinkelig hierzu wirkend genommen werden, fo vereinigen fich die erften beiden zu einer wagrechten Mittelkraft $U = 2\,H \cdot \sin\varphi$, d. i. im vorliegenden Falle, da $\varphi = 45$ Grad gewählt ift, $U = 2 \cdot 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 226{,}24^{kg}$. Diefe Kraft trifft die Stirnmauer rechtwinkelig im Punkte *e*. Die beiden anderen in *e* angreifenden Seitenkräfte, welche an der inneren Seitenfläche der Stirnmauern wirken, halten fich im Gleichgewicht.

Die Widerlagsmauer *a c* erhält vom Streifen *I* den Horizontalfchub $H = 160^{kg}$. Die rechtwinkelig zu *a c* gerichtete Seitenkraft desfelben wird alfo $N_1 = H \cdot \cos\varphi = 160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12^{kg}$, während die mit *a c* zufammenfallende, in der Kämpferlinie des Gewölbes wirkende Seitenkraft $T_1 = H \cdot \sin\varphi$, d. h. auch hier gleich $160 \frac{1}{\sqrt{2}} = 113{,}12^{kg}$ wird.

Für einen Streifen *IV* entfteht wiederum ein einhüftiges elliptifches Gewölbe, deffen Stabilitätsunterfuchung im Plane *IV* in bekannter Weife unter Benutzung der Polarachfe *r s* vorgenommen wurde. Der Horizontalfchub H_1 ergab fich zu $0{,}31 \cdot 2 = 0{,}62$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., mithin für die Dicke $0{,}065^{m}$ des Streifens zu

$$0{,}62 \cdot 0{,}065 \cdot 1600 = 64{,}48^{kg}.$$

Diefer Schub trifft fowohl die Stirnmauer *a b*, als auch die Widerlagsmauer *a c*.

Für die rechtwinkelig zu diefen Mauerkörpern wirkenden Seitenkräfte erhält man $W = H_1 \cdot \sin\varphi$ und $W_1 = H_1 \cdot \cos\varphi$, während für die mit den Begrenzungen *a b*, bezw. *a c* zufammenfallenden Seitenkräfte fich $L = H_1 \cdot \cos\varphi$ und $L_1 = H_1 \cdot \sin\varphi$ ergiebt. Für $\varphi = 45$ Grad ift $\sin\varphi = \cos\varphi$ und demnach

$$W = W_1 = L = L_1 = 64{,}48 \frac{1}{\sqrt{2}} = \sim 45{,}6^{kg}.$$

Von Wichtigkeit ift die Prüfung des Einfluffes, welchen die Gewölbfchübe der fämtlichen Wölbftreifen zwifchen dem mittleren Stirnftreifen und der Mittellinie *E E* des Gewölbes auf die Stirnmauer

und die eigentlichen Widerlagsmauern ausüben. Jeder Gewölbstreifen liefert jedoch nur scheinbar in der Richtung JU, d. h. in der Scheitellinie des Gewölbes, einen vom Gewölbschube, welcher in einem Einzelstreifen auftritt, abhängigen Horizontalschub. Möchte derselbe an sich betrachtet auch keine übermäßige Größe aufweisen, da sehr weit gespannte Kappengewölbe nicht in Anwendung kommen, so ist doch für dieselben sehr häufig eine nicht unbedeutende Länge unter Benutzung des Verbandes auf Schwalbenschwanz erfahrungsmäßig zur Ausführung gekommen, ohne daß bei diesen langen Gewölben übermäßig starke Stirnmauern erforderlich geworden wären. Wollte man einfach die erwähnten, scheinbar auftretenden einzelnen Horizontalschübe, welche in JU liegen, summieren, so müßte bei sehr großer Länge von JU ein sehr großer resultierender Horizontalschub für die Mitte der Stirnmauer entstehen, der schließlich, so darf man folgern, bei unendlicher Länge des Gewölbes auch unendlich groß werden müßte. Dieser Annahme, wonach ein solches Addieren der einzelnen Horizontalschübe zuläßig sei, widerspricht aber alle Erfahrung. Sehr lange Gänge sind häufig mit Kappengewölben im genannten Verbande ausgeführt und doch haben nicht unverhältnismäßig starke Stirnmauern den gesamten entspringenden Horizontalschub ohne besonderen Nachteil für ihren sicheren Bestand und ohne besondere Verankerung aufgenommen. Die Stärke dieser Stirnmauern würde sicherlich nicht genügend gewesen sein, wenn der durch Summierung der einzelnen Horizontalschübe der äußerst zahlreichen Wölbstreifen ermittelte gesamte Horizontalschub für die Stirnmauern thatsächlich zur Wirkung gekommen wäre.

So liefert in dem hier behandelten Beispiele der Elementarstreifen I in Gemeinschaft mit dem ihm zugehörigen Streifen I_1 einen Horizontalschub $U = 226{,}24$ kg. Nimmt man an, ein Gewölbe von derselben Spannweite gleich 4 m besitze statt 8 m Länge eine solche von 80 m, so würde die Scheitellinie von U bis Z, für welche nur die Wölbstreifen von gleicher Spannweite mit dem Streifen I zunächst einmal in Frage kommen mögen, bei dem Winkel $\varphi = 45$ Grad eine Länge von $\frac{80}{2} - 2 = 38$ m besitzen. Für diese Strecke würden unter Berücksichtigung von 1 cm starken Fugen zwischen den Streifen

$$\frac{38}{0{,}075 \frac{1}{\sin \varphi}} = \frac{38}{0{,}075 \sqrt{2}} = \backsim 380 \text{ Schichten}$$

auftreten und folglich ein resultierender Horizontalschub allein für diese Schichten von $380 \cdot 226{,}24$ kg $= \backsim 85\,972$ kg entstehen, mithin sich ein Ergebnis herausstellen, welches als widersinnig gelten muß.

Um zu anderen, der Wirklichkeit näher kommenden Ergebnissen zu gelangen, möge das Gewölbe bis zu den Streifen III und III_1 ausgeführt sein. Würden die unterstützenden Lehrgerüste auch beseitigt sein, so würde dieses Gewölbstück sich frei schwebend erhalten, sofern jeder Streifen zwischen I und III an sich im Gleichgewichte ist. Sein Widerlager findet derselbe in seiner Gesamtheit an der Mauer ae und an den bis zur Stirnmauer eingefügten Streifen des Gewölbestückes.

Bei der praktischen Ausführung, wovon später noch näher die Rede ist, wird nach und nach jedes Paar zusammengehöriger Wölbstreifen für sich gewölbt; von geschickten Arbeitern oft aus freier Hand nur unter Benutzung einer sog. Lehre. Diese besteht aus einem Brettstücke, dessen obere Begrenzung der Wölblinie des Streifens entspricht. Hiernach können auf Schwalbenschwanz eingewölbte Kappen in der Nähe ihres Scheitels selbst eine Oeffnung behalten, eine Anordnung, welche auch häufiger getroffen wird.

Werden die Gewölbstreifen II und II_1 eingewölbt, so stützen sich dieselben gegen die Widerlagsmauer und gegen die Streifen III und III_1 derart, daß die Kämpferdrücke für jene Mauer und für diese Streifen in einer Größe und Richtung auftreten, welche dem möglich kleinsten Gewölbschube der Elementarstreifen II, bezw. II_1 entsprechen. Die Form und Belastung dieser Streifen sind aber in vollständiger Uebereinstimmung mit dem Streifen I, so daß die statische Untersuchung derselben auch übereinstimmende Ergebnisse mit derjenigen für I liefern muß.

Die in den Kämpferpunkten e und k für sich entspringenden Kämpferdrücke sind wieder oi, bezw. $i4$. Die wagrechten Seitenkräfte $H = ok$, bezw. $-l4$; die lotrechten Seitenkräfte ki, bezw. il ergeben sich gleichfalls wie früher. Die von II und II_1 auf den Gewölbkörper, welcher bis III, bezw. III_1 reichte, übertragenen Horizontalschübe setzen sich zu einem in der Scheitellinie des Gewölbes wirkenden Horizontalschub $X = 2D = 2H \sin \varphi$ zusammen, während die winkelrecht zur Scheitellinie genommenen Seitenkräfte N der Horizontalschübe H sich im Gleichgewicht halten und die Endflächen der Streifen II und II_1 gegeneinander pressen. Der noch übrig bleibende resultierende Horizontalschub X trifft zunächst die angrenzenden Gewölbstreifen III und III_1 im Punkte A und muß selbstverständlich durch ein entsprechendes Widerlager aufgehoben werden.

Denkt man sich, die Streifen III und III_1 wären von dem übrigen bis zur Stirnmauer gehenden Gewölbkörper um irgend eine Strecke nach J zu abgerückt, nimmt man ferner an, der übrige Gewölb-

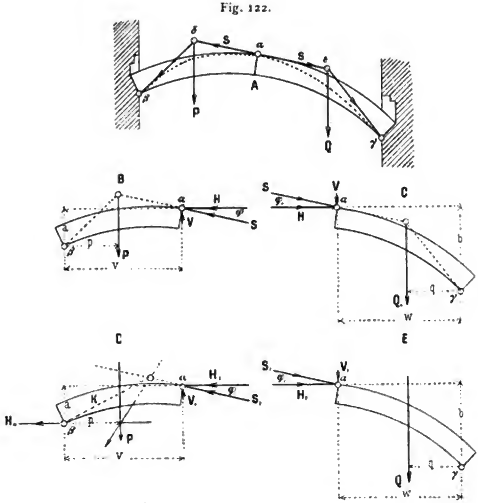
körper fei in der Richtung der Scheitellinie durchfchnitten und lege fich mit den voneinander getrennten Scheitelflächen feiner Streifen gegen eine unprefsbare Strebe, deren Achfe in der Scheitellinie liegt, fo dafs das eine Ende diefer Strebe fich gegen die Stirnmauer, das andere Ende derfelben gegen die ausfpringende Ecke der Streifen *III* und III_1 fetzt, fo würde diefe Strebe den Horizontalfchub *X* allein aufnehmen und unmittelbar auf die Stirnmauer übertragen, ohne den übrigen Gewölbkörper in Mitleidenfchaft zu ziehen.

Würde man für jeden Streifen fo verfahren, fo käme allerdings die Summe aller Horizontalfchübe *X* der zahlreichen Wölbftreifen von *I* bis *J* ohne weiteres auf die Stirnmauer, und zwar in der Richtung der Scheitellinie des Gewölbes. Eine derartige Anordnung einer Strebe findet aber nicht ftatt; ein gewaltig grofser refultierender Horizontalfchub für die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes kann gleichfalls bei fehr langen Gewölben erfahrungsgemäfs nicht auftreten.

Betrachtet man zuvor den Gleichgewichtszustand eines Streifens *III*, bezw. III_1, in dem die in *A* wirkfame Kraft *BA* von der Gröfse *X* nach der Richtung diefer Streifen in die beiden wagrechten Seitenkräfte *CA* und C_1A zerlegt wird, welche offenbar jede gleich *H* der Streifen *II* und II_1 ift, fo wird die Beanfpruchung der Streifen *III* und III_1 durch diefe Kräfte *CA*, bezw. CA_1 und ihre gegebene Belaftung bekannt.

Um danach die Stabilitätsunterfuchung des in folcher Weife beanfpruchten einhüftigen Gewölbftreifens *III* vornehmen zu können, möge folgende Erörterung Platz greifen.

Fig. 122.



In Fig. 122 fei für das einhüftige Gewölbftück *A* der möglich kleinfte Gewölbfchub als *S* und die dazu gehörige, ganz in der Gewölbfläche verbleibende Mittellinie des Druckes als $\beta\alpha\gamma$ gefunden. Um die Gröfse diefes Gewölbfchubes durch Rechnung zu beftimmen, ift für die Gewölbteile *B* und *C* der Gewölbfchub *S* unter Berückfichtigung feiner Richtung gegen die beiden Gewölbteile in die beiden Seitenkräfte *H* und *V* zerlegt, wovon erftere wagrecht, letztere lotrecht wirkend genommen find. Für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung erhält man im Syftem *B*, bezogen auf den Drehpunkt β, bei

der bekannten Lage der Punkte α, β und der bekannten Gröfse, Richtung und Lage der Kraft P, welche das Gewicht des Gewölbteiles B darftellt,

$$0 = -Vv - Ha + Pp \qquad 109.$$

Für den Teil C mit dem Gewichte Q ergiebt fich in Bezug auf den Drehpunkt γ in entfprechender Weife

$$0 = -Vw + Hb - Qq \qquad 110.$$

Aus diefen beiden Gleichungen erhält man

$$H = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \qquad 111.$$

$$V = \frac{Ppb - Qqa}{aw + bv}, \qquad 112.$$

und hiernach würde die Gröfse des Gewölbfchubes S aus der Gleichung

$$S = \sqrt{H^2 + V^2} \qquad 113.$$

zu beftimmen fein.

Der Neigungswinkel φ des Gewölbfchubes S zur Wagrechten wird ermittelt durch

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V}{H} \qquad 114.$$

Wirkt nun an dem fonft unveränderten Gewölbftücke A noch eine gegen den Punkt β nach aufsen gerichtete wagrechte Kraft $H_{,,}$ von ganz beliebiger Gröfse, fo läfst fich der Einflufs, welchen diefe hinzugefügte Kraft auf den Gewölbfchub S ausüben könnte, durch folgende Unterfuchung kennzeichnen.

Der neue Gewölbfchub fei S_1; die entfprechenden wagrechten und lotrechten Seitenkräfte desfelben mögen H_1, bezw. V_1 fein. Für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Kräftefyftem D ift in Bezug auf den Drehpunkt β

$$0 = -V_1 v - H_1 a + Pp + H_{,,} \,.\, \text{Null}, \qquad 115.$$

während für den Zuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung im fonft unveränderten Syftem E unter Annahme des Drehpunktes γ

$$0 = -V_1 w + H_1 b - Qq \qquad 116.$$

fein mufs. Aus diefen beiden Ausdrücken findet man zunächft

$$H_1 = \frac{Ppw + Qqv}{aw + bv}, \qquad 117.$$

d. h. nach Gleichung 111 auch

$$H_1 = H$$

und fodann

$$V_1 = \frac{Ppb + Qqa}{aw + bv}, \qquad 118.$$

oder unter Berückfichtigung von Gleichung 112 auch

$$V_1 = V.$$

Danach mufs auch $S_1 = S$ und $\operatorname{tg} \varphi_1 = \operatorname{tg} \varphi$ fein, fo dafs, wenn, wie hier der Fall, von elaftifchen Formveränderungen des Gewölbkörpers ganz und auch von der Verkittung der Wölbfteine durch Mörtel vorläufig abgefehen wird, die Kraft $H_{,,}$ auf den Gewölbfchub S gar keinen Einflufs ausübt, fobald nur P, Q und die gegebene Lage der Punkte β, α, γ unverändert bleiben. Sie beeinflufst jedoch, wie ohne weiteres aus der Zeichnung zu erkennen ift, den durch β gehenden Kämpferdruck K, welcher aus $H_{,,}$, P und $S_1 = S$ refultiert und deffen wagrechte Seitenkraft gleich $H_1 + H_{,,}$ ift.

In Fig. 121 ift im Plane III unter Einfügen der durch e geführten wagrechten Kraft $H = ok$ des Streifens II, bezw. I die Stabilitätsunterfuchung für den Streifen III vorgenommen und, wie es fein mufs, der in g wirkfame Gewölbfchub wieder wie beim Streifen I gleich $2i$, bezw. $i2$ gefunden, während die wagrechte Seitenkraft $ok_{,,}$ des in e wirkenden Druckes $oi = 2H$ ift.

Da auf den Gewölbefchub der einzelnen Streifen durch Hinzufügen jener gekennzeichneten Kraft $H_{,,}$ kein Einflufs ausgeübt wird, da ferner eine unmittelbare Uebertragung der wagrechten Seitenkräfte der ftets gröfser werdenden Kämpferdrücke in den Scheitellinien der einzelnen Streifen von Z bis U auf die Stirnmauer in der Scheitellinie des Gewölbes nicht als zuläffig erachtet werden kann, fo mufs die Beanfpruchung des zwifchen Z und U, bezw. zwifchen Y und U befindlichen Gewölbkörpers, fowie auch der zwifchen a und dem Streifen I, bezw. zwifchen b und I_1 befindliche Streifen von der Befchaffenheit

des Streifens IV in anderer Weife erfolgen, als im Vorhergegangenen und hier und dort wohl auch irrtümlich bei der Stabilitätsunterfuchung von Kreuzgewölben, wenn deren Gewölbkappen gleichfalls auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführt werden follen, angenommen wurde.

Hinfichtlich der Beanfpruchung der Stirnmauern durch den Gewölbfchub wird man der Wahrheit durch folgende Betrachtung näher kommen.

Der gefamte Gewölbkörper befteht im allgemeinen aus verhältnismäfsig kleinen Wölbfteinen, die, wenn auch entfprechend auf Schwalbenfchwanzverband geordnet, dennoch das Zerlegen in lauter nebeneinander liegende Zonen geftatten, welche fämtlich in ihren Achfen unter einem Winkel φ zur Stirnmauer gerichtet find und für die gröfste Länge des Gewölbes über die Scheitellinie desfelben mit hinweglaufen. Die Einwölbung nach einer folchen parallelen Zonenlage würde, wenn die Stützflächen derfelben gegen Gleiten gefichert find und auch fonft der Gleichgewichtszuftand der einzelnen Streifen bekundet ift, praktifch ohne Bedenken vorgenommen werden können. Für die theoretifche Unterfuchung hat diefe Zerlegung den Vorteil, dafs dadurch die möglicherweife eintretende ungünftigfte Beanfpruchung der Stirnmauer, bezw. Widerlagsmauer in Betracht gezogen wird.

Würden z. B. die Streifen II oder II_1 bis zur Stirnmauer ab erweitert gedacht, fo enthält diefe Zone einen Teil II oder II_1 als Hauptteil und den punktierten Teil als Nebenteil. Die gefamte Zone bildet alsdann ein einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität im Plane II unterfucht ift. Hiernach wird der in x angreifende Kämpferdruck für die Stirnmauer ab als oi_1 und der in h wirkfame Kämpferdruck für die Widerlagsmauer ac als $i_1 6$ gefunden. Diefelben fchliefsen mit den Normalen der zugehörigen Kämpferfugen einen Winkel ein, welcher hier weit kleiner bleibt als der Reibungswinkel des Materials, fo dafs die Gefahr des Abgleitens des Wölbftreifens, d. h. wie ausdrücklich bemerkt werden foll, nach dem Innenraume des Gewolbes zu, nicht vorhanden ift.

Zerlegt man die Kämpferdrücke in ihre wagrechten und lotrechten Seitenkräfte, fo kommen für die vorliegende Unterfuchung die wagrechten Seitenkräfte ok_1, bezw. $l_1 6$ hauptfächlich in Betracht. Beide find von gleicher Gröfse; fie meffen $1{,}20$ m. Bei einer Zonentiefe von 1 m und bei der zu Grunde gelegten Bafis $oz = 2$ m entfprechen diefelben einer Kraft von $1{,}20 \cdot 2 \cdot 1600 = 3840$ kg und fomit für den Streifen von ½ Stein $= 0{,}065$ m einer Kraft von $0{,}065 \cdot 3840 = 249{,}6$ kg $= H_0$.

Diefe Kraft H_0 läfst fich am Widerlager ac zerlegen in eine Kraft

$$N = H_0 \cdot \cos \varphi ,$$

welche fenkrecht auf ac wirkt, und in eine Seitenkraft

$$T = H_0 \cdot \sin \varphi ,$$

welche in die Richtung von ac fällt.

Die entfprechend vorgenommene Zerlegung von H an der Stirnmauer ab ergiebt

$$N_0 = H_0 \cdot \sin \varphi \quad \text{und} \quad T_0 = H_0 \cdot \cos \varphi .$$

Da hier der Winkel $\varphi = 45$ Grad genommen war, fo wird, weil $\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$ ift, auch $N = T = N_0 = T_0$, und zwar $= H_0 \cdot 0{,}7071 = 249{,}6 \cdot 0{,}7071 = \backsim 176{,}5$ kg.

Hierbei ift nun noch zu bemerken, dafs die Kräfte T und T_0 das Beftreben haben, den Gewölbftreifen längs der Widerlagsfläche zum Gleiten zu bringen. Um diefes Gleiten bei dem noch nicht vollendeten Gewölbe zu verhindern, könnten die Widerlagsflächen für jene Zone rechtwinkelig zur Zonenebene, alfo in der Gefamtheit fägeförmig ausgeführt werden. Eine folche Anordnung unterbleibt meiftens, und beim Einwölben ift alsdann ein gut und fchnell bindender Mörtel zu verwenden. Ift das Gewölbe in allen Schichten am Widerlager angefetzt, fo halten fich die in der Richtung von a nach E und die in entgegengefetzter Richtung von c nach E beim Schwalbenfchwanzverband entftehenden Kräfte T das Gleichgewicht.

Bei der Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Wölbmaterials find, wie früher in Art. 22 (S. 54) fchon erwähnt, z. B. für den Streifen II die Punkte x, y und h mehr in das Innere der Stirnfläche zu verlegen. Hierdurch entfteht jedoch ein gröfserer Gewölbfchub, welcher nach den gemachten Angaben leicht beftimmt werden kann.

Wäre der Gewölbkörper in den Ecken von a und b, bezw. von c und d aus nur bis zu den von der Mitte e der Stirnmauer ab abzweigenden Streifen I und I_1 ausgeführt und dann nach befeitigter Unterrüftung fich felbft überlaffen, fo würde ein Einzelftreifen von der Befchaffenheit der Wölbfchicht IV nach der Unterfuchung im Plane IV nur einen wagrechten Schub $ou = 0{,}4 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065$ kg $= 83{,}2$ kg liefern. Die Seitenkräfte $W_1 = 83{,}2 \cdot \cos \varphi$ und $W = 83{,}2 \cdot \sin \varphi$, d. h. hier $W_1 = W = 83{,}2 \cdot 0{,}7071$ kg $= \backsim 59$ kg würden in folchem Falle, bei dem die Eckftücke des Gewölbkörpers durch das ganze übrige Gewölbe noch nicht in Mitleidenfchaft gekommen find, für die Widerlagsmauer, bezw. Stirnmauer in Rechnung zu ziehen fein. Sobald aber die Gewölbftreifen in der Richtung von e nach J zu weiter aus-

geführt werden, und namentlich nach Vollendung des Gewölbes wird der ganze Gewölbkörper diese Eckstücke in Anspruch nehmen und beeinflussen.

Denn denkt man sich, dass beim geschlossenen Gewölbe die Stirnmauer mit dem bis A reichenden Gewölbkörper seitlich nur wenig ausweichen würde, so dass bei A eine Lücke entstände, so würde der Gewölbschub des Streifens bei A sich in seiner Kräfteebene fortzupflanzen streben, d. h. in der Fortsetzung der Richtungsebene der angenommenen und bei der Wölbung innegehaltenen Zonenlage. Hierdurch wird es erklärlich, dass, wie die Erfahrung auch bestätigt, kein übermässig grosser Gewölbschub selbst bei erheblich langen Kappengewölben mit Schwalbenschwanzverband auf die Stirnmauer gelangt. Der Streifen II liefert innerhalb der Strecke cb der Stirnmauer die Kräfte N'_0, bezw. T_0. Der zugehörige Streifen II_1, gehörig erweitert genommen, würde bei dem in Rede stehenden Verbande, entsprechend einer Zonenteilung des Gewölbes parallel zu II_1, für die Stirnmauer innerhalb der Strecke ca dieselben Kräfte N'_0 und T_0 ergeben. Gesellt sich an diesen Stellen noch der Schub W eines antretenden Streifens, z. B. IV, hinzu, so ist die ungünstigste Beanspruchung für die Stirnmauer in eine gewisse Grenze gebracht. Der Rechnung nach wäre alsdann für diese Stelle der ungünstigste Schub gleich

$$N'_0 + W = 176{,}5 + 59 = 235{,}5 \text{ kg}.$$

In der Mitte c der Stirnmauer wirkt als ungünstigster rechtwinkeliger Schub die auf S. 139 ermittelte Kraft $U = 226{,}24 \text{ kg}$. Setzt man in der angegebenen Weise, der Zonenteilung gemäss, die Untersuchung der einzelnen Wölbstreifen fort, so gelangt man in bE zu einem Wölbstreifen von grösster Spannweite. Derselbe tritt nun aber als symmetrisch geformtes und symmetrisch belastetes kleines Gewölbe mit elliptischer Wölblinie auf. Die statische Untersuchung dieses Streifens ist im Plane V vorgenommen. Man erhält hiernach den möglich kleinsten, jetzt wagrecht gerichteten Gewölbschub $E_0 = H_{,,}$ zu

$$1{,}55 \cdot 2 \cdot 1600 \cdot 0{,}065 \text{ kg} = 322{,}4 \text{ kg}.$$

Die winkelrecht zur Widerlagsmauer ac, bezw. bd gerichtete Seitenkraft derselben ist $N'_{,,} = T_{,,,} = 322{,}4 \cos\varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \backsim 228 \text{ kg}$, und ihre rechtwinkelig zur Stirnmauer gerichtete Seitenkraft ist $N'_{,,,} = 322{,}4 \sin\varphi = 322{,}4 \cdot 0{,}7071 = \backsim 228 \text{ kg}$, deren Grösse hier auch für die in ac fallende Seitenkraft $T_{,,} = 322{,}4 \sin\varphi = \backsim 228 \text{ kg}$ massgebend wird.

Für alle bis zu dem durch c parallel mit bE geführten Streifen bleibt beim ganz geschlossenen Gewölbe derselbe Gewölbschub $H_{,,}$, während von hier ab für die Stirnmauer cd dieselbe Untersuchung wieder eintritt, welche für die Stirnmauer ab vorgenommen wurde. Sollte in der Nähe des Scheitels J eine Oeffnung verbleiben, so ist anzunehmen, dass die Streifen, welche diese Oeffnung begrenzen und sich wiederum gegen die vorhandenen Gewölbstücke legen, ihren Gewölbschub durch dieselben auf die Widerlager übertragen. Da für diese Grenzstreifen, wenn sich dieselben nicht etwa, wie bei ganz kurzen Gewölben der Fall sein würde, gegen die Stirnmauern mit legen, derselbe Gewölbschub wie für einen ganzen Zonenstreifen bE auftritt, so erleidet die Bestimmung der Widerlagsstärke für ac, bezw. umgekehrt für bd auch bei einer solchen Oeffnung im allgemeinen keine wesentliche Aenderung; denn würde hinter jeder Ecke eines solchen Streifens eine Lücke sein, so würde der Gewölbschub das Bestreben haben, sich in seiner Kräfteebene fortzusetzen, bis der widerstehende Mauerkörper ac, bezw. bd getroffen wird. Dies gilt für die in der Richtung bE genommenen Zonen ebensogut, wie für die in einer Richtung aE gewählten Zonen.

Wollte man aber auch die kleinen Grenzstreifen der Oeffnung, der Weite dieser Oeffnung entsprechend, als kleine einhüftige Gewölbe behandeln, so würde die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes derselben weit kleiner ausfallen, als die wagrechte Seitenkraft des Gewölbschubes eines Zonenstreifens von der Eigenschaft des Streifens bE, bezw. aE, so dass die für letzteren Streifen erforderliche Widerlagsstärke vollauf auch für jene einhüftigen Oeffnungsstreifen und deren Nachbarstreifen genügt.

Für einen Hauptstreifen bE ist noch derjenige wagrechte Gewölbschub $E_1 o = H_{,,,}$ im Plane V ermittelt, welcher einer Mittellinie des Druckes angehört, die durch die Mittelpunkte der angenommenen Scheitelfuge und der Kämpferfuge geht.

Es ist selbstredend, dass für die sichere Standfähigkeit der Widerlagsmauern dieser grössere Gewölbschub, wie in Art. 23 (S. 57) für das Tonnengewölbe angegeben, Berücksichtigung finden soll.

Vergleicht man die gewonnenen Ergebnisse der Rechnung, so zeigt sich, dass die auf die Stirnmauer kommenden wagrechten und rechtwinkelig dazu gerichteten Gewölbschübe U, $N'_0 + W$ und $N'_{,,,}$ nur ganz wenig voneinander abweichen und dass die Grösse derselben auch mit den auf die Widerlagsmauer gelangenden rechtwinkelig und wagrecht gerichteten Schüben $N'_{,,}$ der Wölbstreifen bei der Zonenteilung oder Schichtenlage unter einem Winkel $\varphi = 45$ Grad in guter Uebereinstimmung steht. Hierdurch ergiebt sich auch eine Bestätigung der in der Praxis bekannten und befolgten Regel, wonach bei der An-

wendung des Schwalbenſchwanzverbandes bei Kappengewölben unter Verwendung eines Richtungswinkels $\varphi = 45$ Grad im allgemeinen die Stärke der Stirnmauern gleich der Stärke der Widerlagsmauern anzuordnen iſt.

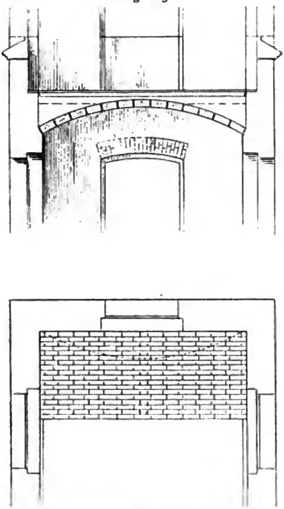
63.
Kappengewölbe mit Stich.

Soll die Scheitellinie des Kappengewölbes mit dem bezeichneten Verbande nicht wagrecht, ſondern unter Hebung des Mittelpunktes der Scheitellinie als gebrochene gerade Linie mit Stich oder als flach gekrümmte Linie (Kreisbogen mit groſsem Halbmeſſer) genommen werden, ſo wird am Grundzuge der Stabilitätsunterſuchung nichts geändert.

Wohl aber ergeben ſich bei einer derartigen Anordnung einige Vorteile in Bezug auf die Abnahme der Gröſse der Gewölbſchübe. Durch das Höherlegen der Scheitellinie bis zum Mittelpunkte derſelben erhalten die einzelnen Wölbſtreifen nach und nach eine gröſsere Pfeilhöhe, und da die Gewichte der Streifen ſich in nennenswerter Weiſe nicht ändern, ſo wird der Wölbſchub im groſsen und ganzen kleiner als bei wagrechter Lage der Scheitellinie. Dadurch wird im allgemeinen eine geringere Stärke der Widerlagsmauern, bezw. der Stirnmauern des Gewölbes bedingt.

Sind die parallelen Seitenebenen der Wölbſtreifen nicht lotrecht, ſondern geneigt, ſo tritt die im vorhergegangenen erörterte Beeinfluſſung der Gewölbſtücke an den Ecken des Raumes erſt recht ein, ohne aber, da dieſe Neigung aus praktiſchen Gründen immer nur äuſserſt geringfügig genommen werden kann, die früher ermittelte Gröſse der einzelnen Gewölbſchübe weſentlich zu beeinträchtigen. Denn bei der Beſtimmung derſelben iſt, wie aus dem Plane *II* von Fig. 121 im beſonderen ſchon hervorgeht, bereits durch Anordnung geneigter Fugenrichtungen die Beſtimmung der Mittellinie des Druckes und des dazu gehörigen Gewölbſchubes berückſichtigt.

Fig. 123.



Müſſen bei dieſen Gewölben Verankerungen der Widerlager eintreten, ſo gilt hierfür dasſelbe wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Die Stirnmauern ſollen niemals ſo ſchwach hergerichtet werden, daſs dieſelben einer Verankerung bedürfen. Würden dieſelben unter beſonderen Umſtänden eine nicht ausreichende Stärke erhalten müſſen, ſo iſt von der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenſchwanzverband Abſtand zu nehmen.

64.
Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verband.

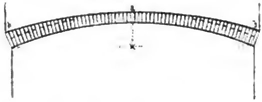
Beim ſog. *Moller*'ſchen Verbande (Fig. 123) liegen ſämtliche Wölbzonen parallel mit der Stirnmauer. Die einzelnen Backſteine ſind auf die hohe Kante geſtellt, ſo daſs die Dicke derſelben parallel zur Gewölbachſe iſt. Jede Gewölbzone bildet ein kleines Kappengewölbe für ſich, welches

ſeine Stütze an den eigentlichen Widerlagsmauern findet. Die Stabilitätsunterſuchung dieſer Wölbzonen erfolgt in gleicher Weiſe, wie bei den auf Kuf eingewölbten Kappen.

Fig. 124.

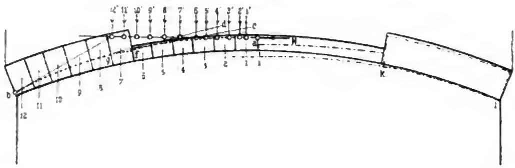


Fig. 125.



65. Kappengewölbe mit zunehmender Wölbdicke. Soll ein Kappengewölbe nach dem Widerlager zu eine gröſsere Stärke als im Scheitel erhalten, ſo muſs, wie ſchon in Art. 5 (S. 7) bemerkt iſt, die Zunahme ſolcher Stärke ſtetig eintreten, wie in Fig. 125, und nicht, wie in Fig. 124, im plötzlich gebildeten Anſatze *b* erfolgen. Wie die ſtatiſche Unterſuchung (Fig. 126) zeigt, wird bei dieſer Anordnung für den ſchwächeren Teil in der Mitte des Gewölbes ein ungünſtiger Verlauf der Drucklinie herbeigeführt. Bei *k* zeigt ſich eine Bruchfuge; der mittlere Teil ſenkt ſich dann leicht und nimmt eine neue Lage *aik* an, womit eine Ausbauchung des Gewölbes in der Nähe von *fg*, bezw. *k* verknüpft iſt. Dieſe Erſcheinungen ſind thatſächlich bei derart ausgeführten Gewölben beobachtet, die zum Teile nach ihrer Ausrüſtung, trotz der Verwendung von gutem Mörtel, eingeſtürzt ſind. Es iſt geboten, vor ſolchen Anordnungen zu warnen. Am zweckmäſsigſten iſt, um das Verhauen der Steine zu vermeiden, das Durchführen einer gleichen Stärke vom Scheitel bis zur Widerlagsfuge. Iſt dieſes in beſonderen Fällen bei einer im Scheitel beſchränkten Konſtruktionshöhe nicht möglich, ſo muſs durch entſprechendes Verhauen der Wölbſteine am Gewölbrücken die Stetigkeit der Zunahme der Gewölbſtärke herbeigeführt werden.

Fig. 126.



66. Empiriſche Regeln für die Wölb- und Widerlagsſtärke. Bei Kappengewölben, mit nicht zu geringer Pfeilhöhe, welche den gewöhnlichen mittleren Belaſtungen ausgeſetzt ſind, wird bei gutem Wölbmaterial die Gewölbſtärke für Spannweiten bis zu $2{,}50$ m gleich ½ Stein, bis $3{,}00$ m gleich ½ Stein und behaftet mit 1 Stein ſtarken, 1 bis 1½ Stein breiten, in Entfernungen von $1{,}50$ bis $2{,}50$ m angebrachten Verſtärkungsgurten (vergl. Art. 43, S. 92), oder bei gröſseren Belaſtungen durchweg gleich 1 Stein genommen. Bei einer Spannweite von $4{,}00$ m kann die Gewölbſtärke, eine ſtetige Zunahme derſelben und Anordnung von Verſtärkungsgurten vorausgeſetzt, im Scheitel gleich ½ Stein, am Widerlager gleich 1 Stein betragen.

Kappengewölbe bis zu $5{,}00$ m Spannweite erhalten durchweg 1 Stein Stärke, unter

Umftänden, namentlich bei fehr langen Gewölbzügen, Verftärkungsgurte oder auch 1 Stein Stärke im Scheitel und 1 1/2 Stein am Widerlager in ftetiger Zunahme.

Sind die Widerlager der Kappengewölbe nicht befonders zu verankern, ift ihre Höhe nicht erheblich über der Rückenlinie des Gewölbes abgegrenzt, fo nimmt man die Starke derfelben zu 1/4 bis 1/5 der Spannweite an.

c) Ausführung der Kappengewölbe.

Als Wölbmaterial für Kappengewölbe wird hauptfächlich Backftein benutzt. Nur in Gegenden, in welchen dünne, lagerhafte und gute Bruchfteine billiger befchafft werden können, werden diefe in Verwendung genommen. Aufserdem werden hier und dort ftatt der Backfteine auch andere künftliche Baufteine, deren Geftalt im allgemeinen derjenigen der Backfteine entfpricht, mit Vorteil als Wölbfteine gebraucht. 67. Allgemeines.

Soll das Gewicht der Kappengewölbe möglichft gering werden, fo verwendet man in befonderen Fällen Hohlziegel oder Lochfteine, unter Umftänden auch die poröfen Steine, Schwemmfteine u. dergl. Diefe Materialien müffen aber ftets eine genügende Feftigkeit gegen Druck befitzen.

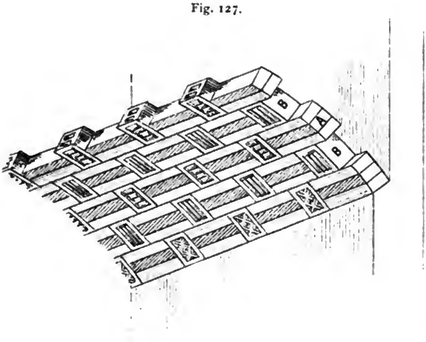
In architektonifcher Beziehung erfcheint das Kappengewölbe mehr als eigentliche Nützlichkeitskonftruktion, fo dafs dasfelbe im Vergleich mit den übrigen Gewölbformen, welche einer weiteren künftlerifchen Durchbildung fähig find, in den Hintergrund tritt. Das Kappengewölbe nähert fich mehr einer flachen, wagrechten Decke von mäfsiger Breitenabmeffung, tritt dementfprechend einfach in die Erfcheinung und erhält danach eine ähnliche Behandlung.

Je nach dem Verbande, welcher bei der Mauerung der Kappengewölbe in Anwendung gebracht wird, unterfcheidet man 68. Mauerung der Kappengewölbe.

1) Kappengewölbe auf Kuf,
2) Kappengewölbe mit Schwalbenfchwanzverband und
3) Kappengewölbe mit *Moller*'fchem Verband.

Bei den Kappengewölben auf Kuf gemauert gelten genau diefelben Regeln, welche bezüglich der Mauerung der Tonnengewölbe in Art. 30 (S. 78) mitgeteilt find. Hier möge noch bemerkt werden, dafs die Ausführung von gewöhnlichen Kappengewölben in zwei oder mehr flach übereinander liegenden Ringfchichten weniger gebräuchlich ift.

Fig. 127.



Soll bei Kappengewölben die Laibungsfläche frei, ohne Putz, in farbigem und noch befonders gefchmücktem

Backſteinmauerwerk gelaſſen werden, ſo kann, entſprechend dem Verbande auf Kuf, eine reicher geſtaltete, häufiger ausgeführte Anordnung nach Fig. 127 getroffen werden. Hierbei ſind gröſsere Wölbſteine *B* gleichſam als Binder eingefügt, zwiſchen denen die Läuferſchichten *A* auftreten.

Die Kappengewölbe mit Schwalbenſchwanzverband erhalten die bereits in Fig. 121 (S. 138) im allgemeinen angegebene Schichtenbildung, ſo daſs jede derſelben ein ſchmales Kappengewölbe bildet, welches in feinen Lagerfugenflächen ſo zu behandeln iſt, daſs dieſelben winkelrecht zur Wölblinie und winkelrecht zur Stirnfläche der zugehörigen Zone ſtehen.

Die beſondere Ausführungsweiſe dieſer Zonen wird noch weiter beſprochen werden.

Kappengewölbe mit *Moller*'ſchem Verbande beſtehen, wie vorher in Art. 64 (S. 145) bemerkt wurde, aus einer Schar parallel zur Stirnmauer und nebeneinander liegender ſelbſtändiger Wölbzonen, deren Tiefe gleich der Dicke eines Backſteines, deren Achſe mit der Gewölbachſe zuſammenfällt und deren Leitlinie ſich mit der Leitlinie des Kappengewölbes deckt. Die Lagerfugenflächen der ungeraden Anzahl ſymmetriſch zum Schluſsſteine der Zone geordneten Wölbſteine ſtehen winkelrecht zur Stirn und zur Laibungsfläche dieſes dünnen Wölbſtreifens.

69. Mörtel.

Bei den an und für ſich nicht ſehr ſtarken und auſserdem immerhin flachen Kappengewölben, gleichgültig, welcher Verband dabei Verwendung findet, iſt die innige Verkittung der einzelnen Wölbſteine, bezw. der einzelnen Wölbſcharen und Wölbzonen durch guten und möglichſt ſchnell bindenden Mörtel für einen dauernden Beſtand des Gewölbes von hervorragendſter Bedeutung, und zwar ſelbſt dann, wenn die ſtatiſchen Unterſuchungen den Gleichgewichtszuſtand desſelben als geſichert nachweiſen. Bei mangelhaftem Verbinden der Wölbſteine durch Mörtel oder bei Verwendung eines minder guten Bindemittels werden leicht durch oft nur geringfügige, einſeitig das Gewölbe treffende Belaſtungen Verdrückungen und Formveränderungen zum Nachteile des ganzen Gewölbes oder einzelner Stücke desſelben veranlaſst.

Als Regel muſs gelten, daſs neben der Beobachtung eines richtigen Verbandes der Wölbſteine vor allen Dingen die gediegene Vereinigung derſelben durch vorzüglichen, ſchnell bindenden Mörtel zu einer zuſammenhängenden Maſſe zu erzielen iſt. Vielfach empfiehlt ſich die Benutzung von Zementmörtel allein oder von verlängertem Zementmörtel, wovon bereits in Art. 31 (S. 78) die Rede geweſen iſt.

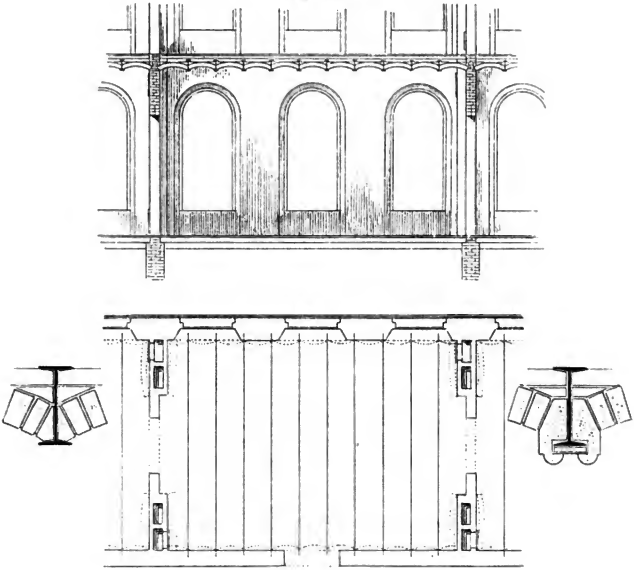
Hinſichtlich der Zeit der Ausführung der Kappengewölbe gilt das in Art. 32 (S. 79) Geſagte gleichfalls.

70. Rüſtungen.

Die Rüſtungen, auf welchen das Einwölben der Kappengewölbe vorgenommen wird, ſind äuſserſt einfach. Sie beſtehen weſentlich nur aus entſprechend unterſtützten, aus 30 bis 35 mm ſtarken Bohlen angefertigten Wölbſcheiben, welche in Entfernungen von 1,00 m bis 1,30 m aufgeſtellt, durch Holzkeile unterlagert ſind und mit einer Bretterſchalung von 30 bis 35 mm Stärke verſehen werden. Bei der Beſprechung der geſamten Anlage und Ausführung eines Kappengewölbes wird noch eine nähere Beſchreibung dieſer Lehrbogen u. ſ. w. gegeben werden. Bei ſehr langen Kappengewölben oder auch bei zwei ziemlich nahe übereinander liegenden derartigen Gewölben, wie dieſelben etwa bei Heizungs- oder Lüftungskanälen vorkommen, benutzt man vorteilhaft ſtatt der eingeſchalten Lehrbogen die früher ſchon in Art. 41 (S. 90) erwähnten Rutſchbogen.

Die Einwölbung der Kappengewölbe ift unter Beachten der in Art. 30 (S. 78) für Tonnengewölbe gegebenen Vorfchriften im allgemeinen in gleicher Weife vorzunehmen. Auf das forgfältige Ausmauern der Gewölbezwickel oder das gute Ausfullen derfelben mit Beton ift befonders Bedacht zu nehmen. Auch für die Zeit der Ausrüftung gilt hier vollftändig das in Art. 39 (S. 88) Gefagte. 71. Einwölbung.

Fig. 128.



Für die Spannweite der Kappengewölbe find mäfsige Abmeffungen bedingt. Diefelben bewegen fich in Weiten von 0,50 bis höchftens 5,00 m. Beim Ueberfchreiten der Spannweite von 5,00 m geht der Nutzen, welchen fonft die flachen Kappengewölbe wegen ihrer geringen Konftruktionshöhe zu bieten vermögen, mehr oder weniger verloren. 72. Ausführung nebeneinander liegender Kappengewölbe.

Im allgemeinen ift für Kappengewölbe durchfchnittlich eine Spannweite von 2,50 bis 3,50 m üblich, welche ab und an auf 4,00 m gefteigert werden kann.

Bei Räumen, deren Breite diefen durchfchnittlich gegebenen Spannweiten entfpricht, welche aber fonft eine beliebige Länge aufweifen, kann zur Bildung der Decke ein einziger Gewölbezug als Kappengewölbe dienen.

Häufig und nicht ohne Vorteil für die Sicherheit des Gewölbekörpers werden

aber auch Räume von mehr oder minder grofser Länge und einer Breite, entfprechend der Durchfchnittsweite der Kappen, mit nebeneinander liegenden fchmalen Kappengewölben überdeckt, deren Gewölbachfen rechtwinkelig zu den Längsmauern des Raumes gerichtet find. Bei diefer Gliederung der Decke (Fig. 128) ftützen fich die einzelnen Gewölbjoche gemeinfchaftlich gegen einen eifernen Walzträger in I-Form, deffen Endauflager in den Längsmauern geboten wird, während fich die erfte und letzte Kappe gegen die feitlichen kurzen Umfangsmauern legen. Eine derartige Trägerlage mit dazwifchen gefpannten Kappengewölben kann auch felbft noch für Räume von einer Breite bis zu $8{,}_{00}$ m in Anwendung kommen, wenn man nur dafür forgt, dafs die einzelnen Kappen, um den Querfchnitt der einzelnen Träger und damit das Gewicht derfelben nicht zu bedeutend, fowie ferner die Koften dafür nicht zu erheblich zu geftalten, eine nur geringe Spannweite von etwa $0{,}_{80}$ bis $1{,}_{00}$ m erhalten.

Mit diefer Anordnung von Einzelträgern über $8{,}_{00}$ m freie Stutzweite hinaus zu gehen, ift nicht rätlich, da bei gröfseren Längen den Trägern ein Ueberpreis zugefchlagen wird.

Statt folcher Walzeifenträger Eifenbahnfchienen, namentlich wenn diefelben fchon im Betriebe gewefen find, zu verwenden, ift durchaus nicht zu empfehlen, einmal weil die Eifenbahnfchienen für den Anfatz der Widerlagsfteine keinen günftigen Querfchnitt befitzen, und fodann weil bei den fchon gebrauchten Schienen Fehler vorkommen können, die nicht immer ohne weiteres erkennbar find, welche aber die Tragfähigkeit diefer Schienen höchft unficher machen.

Ueber die Auswölbung der Trägerfache find bereits im vorhergehenden Heft (Abt. III, Abfchn. 2, A, Kap. 4, unter a) diefes »Handbuches« eingehende Mitteilungen gemacht worden, wobei auch über zweckmäfsige Trägerformen das Nötige gefagt ift.

Bei gröfseren Breiten- und Längenabmeffungen von Räumen find, wenn ausfchliefslich Steinkonftruktionen auftreten follen, die befonderen Gewölbjoche gegen Widerlagskörper zu führen, welche parallel mit den Längsmauern oder je nach der beabfichtigten Raumbenutzung parallel mit den eigentlichen Stirnmauern des Raumes als felbftändige Baukörper eingefugt werden und fomit nicht allein eine Deckenteilung, fondern auch eine Raumzerlegung veranlaffen. Hierdurch foll aber, abgefehen von etwa anzulegenden Längs- oder Querfcheidemauern, eine Raumbeengung fo weit als möglich vermieden werden.

73. Gurtbogen.

Eine derartigen Anforderungen entfprechende Konftruktion befteht in der Anlage von Bogenftellungen oder von fog. Gurtbogen. Diefe Gurtbogen find fchmale Tonnengewölbe, bezw. Flachbogengewölbe, welche fich gegen einen gemeinfchaftlichen Pfeiler, Gurtbogenpfeiler genannt, ftützen und an ihrem Vor- und Rückhaupt die Widerlagsflächen als »Falze« für die antretenden Kämpfer der aufzunehmenden beiden feitlich gelegenen Gewölbjoche oder Kappen enthalten.

Die Wölblinie der Gurtbogen kann ein Halbkreis, eine gedrückte oder überhöhte Ellipfe, ein gedrückter oder überhöhter Korbbogen oder fehr zweckmäfsig eine Parabel fein.

Wird ein Flachbogen als Wölblinie genommen, fo giebt man demfelben das Pfeilverhältnis von $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, feltener von $\frac{1}{6}$, letzteres nur, wenn die Gurtbogen die Kappen allein zu tragen haben. Wohl ift aber beim Flachbogen der ihm zukommende oft nicht unbedeutende Gewölbfchub zu beachten, welcher Veranlaffung

geben kann, auf die Benutzung desfelben als Wölblinie für die Gurtbogen bei gewiffen Verhältniffen zu verzichten. Die Spannweite der Gurtbogen wird zweckmäfsig etwa zu 4,00 m genommen.

Die Breite oder Tiefe derfelben beträgt gewöhnlich 1½ bis 2 Steinlängen. Gurtbogen nur 1 Stein breit zu nehmen ift verwerflich, weil diefelben durch den antretenden Gewölbfchub bei ungleicher Belaftung der von ihnen getragenen Kappengewölbe leicht verdreht werden können und weil diefelben durch das eingefchnittene Widerlager für die Kappen zu fehr gefchwächt werden.

Müffen Gurtbogen aufser ihrer Hauptaufgabe, die Kappengewölbe zu ftützen, noch als Tragbogen für Scheidemauern der darüber befindlichen Obergefchoffe eines Bauwerkes dienen, fo wird ihre Breite fchon hiervon abhängig und oft bedeutender als 2 Steinlängen.

Die Stärke der Gurtbogen ift nach ihrer Belaftung zu beftimmen. Haben diefelben nur die beiden zufammengehörigen Gewölbe zu tragen, fo kommt, wenn diefe Gewölbe gleiche Spannweite und gleiche Ueberlaft aufweifen, für jeden Gurtbogen aufser feinem Eigengewicht offenbar noch das Gewicht eines Gewölbes von einer Länge gleich der Länge des Gurtbogens in Betracht. Die von den Kappengewölben herrührenden Kämpferdrücke befitzen wagrechte Seitenkräfte, die Gewölbfchübe, welche unter der gemachten Vorausfetzung von gleicher Gröfse und gegeneinander gerichtet find, alfo fich aufheben. Ruhen noch aufserdem Obermauern mit den von ihnen geftützten Balkenlagen u. f. f. auf den Gurtbogen, fo ift unter Berückfichtigung der hieraus entfpringenden Belaftungen die Stärke derfelben zu ermitteln. Die Stabilitätsunterfuchung ift entfprechend dem in Art. 24 (S. 57) Gefagten zu führen, wobei, falls ein Gurtbogen etwa auch noch durch Einzelgewichte belaftet würde, auf die Ausführungen in Art. 25 (S. 65) Rückficht zu nehmen ift. Für die gewöhnlichen Fälle wird die Stärke der Gurtbogen zu 1½ bis 2, bezw. 2½ Steinlängen gewählt.

Sind die Gurtbogen als ein einzelner Bogen oder als Bogenftellung parallel mit der fchmalen Seite des Raumes anzulegen, fo find bei gröfserer Länge des Raumes in Entfernungen von 2,50 bis 3,50 m und unter befonderen Verhältniffen bis höchftens etwa 4,00 m parallel geftellte Gurtbogenzüge auszuführen. Zweckmäfsig erhalten diefelben an den Umfangsmauern oder Scheidemauern, welche nun als Widerlager für die antretenden Gurtbogen mit dienen müffen, noch befondere Wandpfeiler, fog. Vorlagen, um nicht von vornherein jenen den Raum begrenzenden Mauern ihrer ganzen Länge nach eine folche Stärke geben zu müffen, wie folche der Gewölbfchub der angelegten Gurtbogen erforderlich macht. 74 Vorlagen.

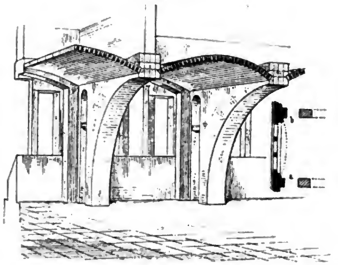
In der Bildung diefer Vorlagen liegt ein wefentlicher Nutzen für die Bemeffung der Stärke der Umfangsmauern des mit Kappengewölben zu überdeckenden Raumes, da, fobald diefe Mauern thunlichft von der Stärke des Mauerkörpers, welcher als Widerlager für die Gurtbogen vorhanden fein mufs, zwifchen den Gurtbogenfeldern befreit find, für diefe Baukörper eine wefentlich geringere Stärke genommen werden kann.

In Fig. 129 ift die Anlage von Kappengewölben mit fog. vorgezogenen Gurtbogen dargeftellt. Die zwifchen den vorfpringenden Vorlagen der Gurtbogen vorhandenen Umfangsmauern treten nur als Schildmauern der Kappengewölbe auf, können alfo, namentlich wenn die Kappen auf Kuf oder nach dem *Moller*'fchen Verbande eingewölbt find, eine nur mäfsige Stärke erhalten und durch Licht- oder

Thüröffnungen in ausgiebigster Weise geöffnet behandelt werden.

Selbstverständlich ist die Teilung für die Gurtbogen der Achsenlage des Raumes, bezw. des ganzen Bauwerkes entsprechend zu nehmen.

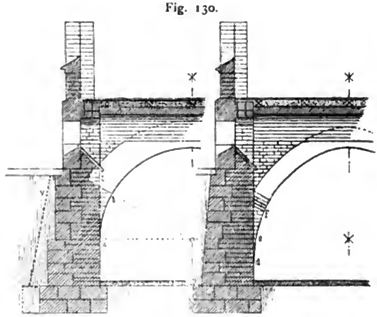
Fig. 129.



Dafs unter Umständen, wie auch in Fig. 129 angedeutet ist, die Vorlagen der Gurtbogen, bei genügend weitem Vorsprunge und bei geeignet gewählter Wölblinie der Gurtbogen, selbst mit Oeffnungen versehen werden können, ist für die Benutzung des Raumes nicht ohne Bedeutung. In derartigen Fällen empfiehlt sich in erster Reihe als Wölblinie für die Gurtbogen eine Parabel, deren Pfeilhöhe gleich oder gröfser als ihre halbe Spannweite ist, weil hierbei der Kämpferdruck in günstiger Weise nach ihrem unmittelbar unter dem Fufsboden des Raumes befindlichen Widerlagsmauerwerk geleitet wird. Bei Flachbogen liegt der Kämpferdruck höher, wirkt also ungünstiger auf die Vorlagen ein. Bei einem Halbkreise, einem elliptischen Bogen oder einem Korbbogen wird die Beanspruchung des Wölbmaterials im allgemeinen ebenfalls ungünstiger, als beim Parabelbogen mit dem bereits angegebenen Pfeilverhältnisse.

Sind aus bestimmten Gründen, wie z. B. bei Kellern, die Umfangsmauern der mit Kappengewölben zu überdeckenden Räume an und für sich schon in so bedeutender Stärke auszuführen, dafs dieselben durch den Gewölbschub der Gurtbogen nicht in ihrer Stabilität geschädigt werden, so können die Gurtbogen, ohne mit Vorlagen versehen zu sein, aus den Umfangsmauern hervorwachsen. Dann ist auch die vorhin angedeutete Vorsicht hinsichtlich der Wahl der Wölblinie für die Gurtbogen von geringerer Bedeutung. In Fig. 130 ist für einen derartigen Gurtbogenansatz ein Halbkreis- und ein Parabelbogen als Wölblinie angenommen, für welche die innere lotrechte Begrenzungslinie der Seitenmauer als Berührungslinie in den Berührungspunkten *a*, bezw. *d* auftritt. Bei solchen Anlagen sind die Anfänger der Gurtbogen immer gleich bei der Aufmauerung des Mauerwerkes der Umfangsmauern wie bei *ac*, bezw. bei *def* in wagrechten Schichten vorgekragt mit auszuführen. Hierbei ist ein regelrechter

Fig. 130.



Verband dieser Anfänger mit dem eigentlichen Mauerkörper unter Verwendung eines tadellosen Mörtels, zweckmäfsig des verlängerten Zementmörtels, innezuhalten.

Im allgemeinen beträgt bei den gewöhnlichen Anlagen die Stärke der Widerlager der Gurtbogen, je nach ihrer Belaftung, $^1/_3$ bis $^1/_5$ ihrer Spannweite.

Hier möge noch bemerkt werden, dafs für ftark belaftete Gurtbogen mit einem Halbkreife als Wölblinie bei unzureichender Stärke der Umfangsmauer der Kellergefchoffe auch die nötige Widerlagsftärke für die Gurtbogen durch nach aufsen vorgelegte Strebepfeiler *v*, deren Breite der Tiefe der Gurtbogen mindeftens gleich wird, zu fchaffen ift; eine Anordnung, welche bei der Parabel als Wölblinie feltener nötig wird. 75. Strebepfeiler.

Ift für Gurtbogen in befonderen Fällen ein kräftiges Widerlager durch Vorlagen, bezw. durch Strebepfeiler hinter den Umfangsmauern nicht zu fchaffen, erfcheinen auch die Umfangsmauern, gegen welche fich die Gurtbogen legen, hinfichtlich ihrer Stärke nicht genügend ficher, fo hat man feine Zuflucht zu Verankerungen der Gurtbogen zu nehmen. Hierbei ift aber ftets die gröfste Vorficht geboten. Namentlich find die Zuganker dann fo tief zu legen, dafs diefelben durch die Kämpfer der Gurtbogen gehen, um hierdurch den Gewölbfchub derfelben möglichft vollftändig abzufangen. Aufserdem find reichlich grofs bemeffene Ankerplatten zu verwenden. Im übrigen kann in diefer Beziehung auf das in Art. 59 (S. 128) Vorgetragene hingewiefen werden. 76. Verankerungen.

Bedingt eine Grundrifsbildung das Durchkreuzen von zwei Gurtbogen, bezw. Gurtbogenzügen, fo darf ein kreuzender Gurtbogen niemals fein Widerlager an den Häuptern des anderen Gurtbogens finden. Vielmehr müffen diefe Gurtbogen eine gemeinfchaftliche Fufsfläche und einen gemeinfchaftlichen Stützkörper erhalten. 77. Kreuzung von Gurtbogen.

Der an den Häuptern der Gurtbogen einzufügende Falz für das Widerlager der Kappengewölbe folgt in feiner unteren Begrenzungslinie genau der Kämpferlinie der Kappengewölbe. Diefelbe foll für alle Kappengewölbe zwifchen Gurtbogen bei einer und derfelben Raumdecke in einer wagrechten Ebene liegen, damit eine möglichft günftige Beanfpruchung der Gurtbogen durch den Schub der Kappen eintritt. Aufserdem follen die Spannweiten und Pfeilverhältniffe für die Kappengewölbe zwifchen den Gurtbogen thunlichft gleich fein, weil bei gröfserer Abweichung in diefen Abmeffungen der benachbarten Kappen der Gurtbogen ebenfo ungünftig beanfprucht wird, wie das in Art. 28 (S. 73) befprochene gemeinfchaftliche Widerlager von zwei Tonnengewölben mit verfchiedener Spannweite. Die Kämpferlinie der Kappengewölbe liegt mindeftens 10 cm, beffer 12 cm über dem Scheitel des Gurtbogens, da bei einer tieferen Lage derfelben leicht das Abdrücken der Scheitelfteine des Bogens unterhalb des Falzes möglich wird. 78. Falze.

Die fchräg auffteigende Fläche des Falzes richtet fich in ihrer Neigung nach der Richtung der Kämpferfuge der Kappengewölbe.

Da die Stärke des Gurtbogens in den meiften Fällen nicht fo grofs ift, dafs das Widerlager der Kappen, alfo auch der Falz hierfür, in der ganzen Stirnfläche der Gurtbogen verbleiben kann, fo mufs die forgfame Ausmauerung der Zwickel der Gurtbogen oberhalb der Rückenfläche derfelben, wie auch aus Fig. 130 zu erfehen ift, ftattfinden. Diefe Ausmauerung nimmt dann die Fortfetzung des Falzes mit auf.

Der gefamte an beiden Hauptflächen des Gurtbogens vorkommende Falz wird in der Regel gleich bei der Wölbung des Bogens durch entfprechend zugehauene

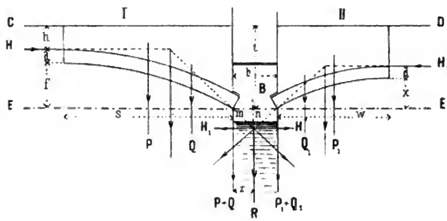
Wölbſteine mit ausgeführt. Soll dagegen der Falz ſpäter eingehauen werden, ſo muſs dieſe Arbeit erſt nach möglichſt vollſtändigem Abbinden und Erhärten der Mörtelbänder des Bogens vorgenommen werden. Ebenſo iſt die Einwölbung der Kappen zwiſchen den Gurtbogen erſt dann zweckmäſsig in Angriff zu nehmen, ſobald die Gurtbogen kräftig im Mörtel abgebunden ſind.

Müſſen die Gurtbogen parallel mit der Längsmauer des Raumes angelegt werden, ſo gilt dasſelbe, was vorhin über die parallel zur ſchmalen Seite des Raumes geſtellten Gurtbogen mitgeteilt iſt.

79. Kappengewölbe mit ungleicher Spannweite.

Kann die erwähnte günſtige Beanſpruchung der Gurtbogen bei einer ungleichen Spannweite der von einem gemeinſchaftlichen Gurtbogen aufzunehmenden Kappengewölbe bei gegebenen beſonderen Verhältniſſen eine Beeinfluſſung erfahren, welche nachteilig für den Gurtbogen werden müſste, ſo darf, um dieſe Einflüſſe thunlichſt zu beſeitigen, das Feſtſtellen der zweckmäſsigen Pfeilhöhen der beiden verſchieden weit geſpannten Kappen nicht unterlaſſen werden. In dieſer Beziehung begegnet man in der Praxis des Hochbauweſens bei derartigen Anlagen von Kappengewölben noch manchen Willkürlichkeiten, die einzuſchränken ſind.

Fig. 131.



In Fig. 131 ſei I ein halbes Kappengewölbe mit der Spannweite $2s$, der Pfeilhöhe f, der Wölbſtärke d und der auf Wölbmaterial zurückgeführten, oben wagrecht abgeglichenen Ueberlaſt von der Höhe h. Die Gröſse des möglich kleinſten Gewölbſchubes H iſt nach Gleichung 82 (S. 124) mit

$$H = \frac{s^2}{12\,(f + d)}\,[6\,(d + h) + f]$$

zu berechnen.

Tritt mit dieſem Gewölbe das zur Hälfte gezeichnete Kappengewölbe II mit der Spannweite $2w$ an einen gemeinſchaftlichen Gurtbogen B, ſo iſt zunächſt zu beachten, daſs die Kämpferlinien beider Gewölbe in einer und derſelben wagrechten Ebene liegen, daſs ſodann, den Anforderungen des Hochbauweſens meiſtens entſprechend, die Gewölbe eine gleiche Stärke erhalten und ſo übermauert oder mit Beton, bezw. Sandſchüttung überlagert werden, daſs der Fuſsboden, bezw. die obere Abgrenzung der Gewölbe wiederum in eine und dieſelbe wagrechte Ebene gelangt.

Sind nun beide Gewölbe noch auſserdem mit einer gleich groſsen Nutzlaſt für 1 qm Grundriſsfläche behaftet, ſo liegt auch die obere Grenzlinie der Belaſtungsflächen derſelben in einer wagrechten Ebene CD. Die lotrechte Entfernung dieſer Ebene von der Kämpferebene EE iſt

$$t = f + d + h \qquad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 119.$$

Die Tiefe beider Gewölbe ſei gleich der Längeneinheit. Iſt ferner x die Pfeilhöhe des Gewölbes II und H_1 der möglich kleinſte Gewölbſchub desſelben, ſo wird

nach den Bezeichnungen in Fig. 131 und in Rückſicht auf das in Art. 19 (S. 50) Geſagte

$$H_1 = \frac{P_1 \frac{w}{2} + Q_1 \frac{w}{4}}{d + x}.$$

Da

$$P_1 = (t - x)\, w \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} w x \quad \ldots\ldots \quad 120.$$

iſt, ſo wird hiernach

$$H_1 = \frac{t - x \frac{w^2}{2} + \frac{w^2 x}{12}}{d + x}$$

und nunmehr hieraus

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H_1 d)}{12 H_1 + 5 w^2} \quad \ldots\ldots \quad 121.$$

gefunden.

Da der Gurtbogen durch die Kämpferdrücke der beiden Gewölbe im allgemeinen am günſtigſten in Mitleidenſchaft gezogen wird, wenn die wagrechten, in der Kämpferebene EE liegenden Seitenkräfte H und H_1 ſich das Gleichgewicht halten, ſo daſs neben dem Eigengewicht und der Belaſtung des Gurtbogens von den Kappengewölben nur die lotrecht wirkenden Seitenkräfte

$$R = P + Q + P_1 + Q_1 \quad \ldots\ldots \quad 122.$$

der Kämpferdrücke für denſelben in Betracht zu ziehen ſind, ſo folgt, daſs $H_1 = H$ zu ſetzen und danach

$$x = \frac{6\,(t w^2 - 2 H d)}{12 H + 5 w^2} \quad \ldots\ldots \quad 123.$$

zu berechnen iſt.

In dieſem Ausdrucke hat H den nach Gleichung 82 ermittelten Wert. Setzt man alſo die Geſtaltung des Gewölbes I feſt, ſo iſt bei gegebener Spannweite des Gewölbes II die Pfeilhöhe x in die durch Gleichung 123 ausgeſprochene Abhängigkeit vom Gewölbe I zu bringen. Hierdurch iſt jede Willkür ausgeſchloſſen.

Um die Lage der Mittelkraft R der lotrechten Seitenkrafte der von beiden Gewölben hervorgerufenen Kämpferdrücke zu finden, kann man, wenn die Breite b des Gurtbogens gegeben iſt, den Abſtand $mn = z$ dieſer Kraft R von dem Kämpferpunkte m unter Berückſichtigung von Fig. 131 leicht beſtimmen. Man erhält durch $Rz = (P_1 + Q_1) b$ den Ausdruck, woraus

$$z = \frac{(P_1 + Q_1)\, b}{R} \quad \ldots\ldots \quad 124.$$

wird. In der Gröſse R ſind nach Gleichung 122 auch die Werte von P und Q mit enthalten. Dieſelben ergeben ſich nach den Gleichungen 57 u. 58 (S. 51), während P_1 und Q_1 nach Gleichung 120 in Verbindung mit dem aus Gleichung 123 zu berechnenden Werte von x zu beſtimmen ſind.

Würden die Gewölbkappen ſich ſtatt gegen einen Gurtbogen gegen einen gemeinſchaftlichen Walzeiſenträger legen, ſo wird an der geführten Unterſuchung nichts geändert.

Beiſpiel. Es ſei $2s = 4$ m, alſo $s = 2$ m, $f = 0{,}5$ m oder $= \frac{1}{8}$ der Spannweite, $d = 0{,}25$ m und $h = 0{,}18$ m, d. h. einer Nutzlaſt von etwa 280 kg für 1 qm Grundriſsfläche entſprechend. Die Spannweite $2w$ des Nachbargewölbes ſei 3 m, alſo $w = 1{,}50$ m; die Gewölbſtärke d ſei auch hier 0,25 m.

Man erhält nach Gleichung 82 (S. 124)

$$H = \frac{2^3}{12\,(0{,}5 + 0{,}25)}\left[6\,(0{,}25 + 0{,}18) + 0{,}5\right] = 1{,}37 \text{ qm}.$$

Nach der Tabelle in Art. 24 (S. 62) könnte für die Gewölbſtärke gleich 1 Stein $= 0{,}25$ m der Normaldruck $N = 2{,}61$ qm betragen, während H dort nur $= 0{,}87$ qm iſt.

Aus den in Art. 61 (S. 133) angegebenen Gründen kann aber für das unterſuchte Gewölbe die Stärke von $0{,}25$ m beibehalten werden.

Nach Gleichung 119 wird

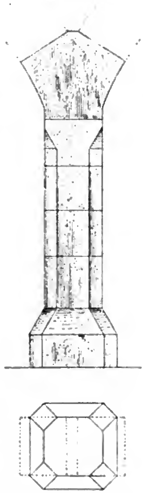
$$t = 0{,}5 + 0{,}25 + 0{,}18 = 0{,}93 \text{ m}$$

und nunmehr nach Gleichung 123

$$x = \frac{6\,(0{,}93 \cdot 1{,}5^2 - 2 \cdot 1{,}37 \cdot 0{,}25)}{12 \cdot 1{,}37 + 5 \cdot 1{,}5^2} = 0{,}305 \text{ m}$$

als geſuchte Pfeilhöhe des Gewölbes mit der Spannweite $2w = 3\,m$. Danach iſt alſo das Pfeilverhältnis dieſes Gewölbes nicht auch gleich $\frac{1}{8}$, wie beim gröſseren Gewölbe, ſondern nur $\frac{0{,}305}{3} =$ rund $\frac{1}{10}$ zu nehmen.

Fig. 132.



Derartige Ergebniſſe ſind in der Praxis bei der Ausführung von Kappengewölben füglich zu beachten. Nachdem x berechnet iſt, läſst ſich z nach Gleichung 124 finden. Zuvor iſt nach den Gleichungen 120 u. 123:

$$P_1 = (0{,}93 - 0{,}305)\,1{,}5 = 0{,}938 \text{ qm} \quad \text{und} \quad Q_1 = \frac{1}{3} \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}305 = 0{,}153 \text{ qm}.$$

Auſserdem ergiebt ſich nach Gleichung 57: $P = (0{,}25 + 0{,}18)\,2 = 0{,}86$ qm und endlich nach Gleichung 58: $Q = \frac{1}{3} \cdot 0{,}5 \cdot 2 = 0{,}333$ qm.

Nach Gleichung 122 iſt demnach R gleich der Summe dieſer Gewichte, alſo gleich $2{,}304$ qm, ſo daſs zuletzt nach Gleichung 124

$$z = \frac{(0{,}938 + 0{,}153)\,b}{2{,}304} = \frac{1{,}091\,b}{2{,}304} = 0{,}473\,b$$

wird. Hiernach liegt die lotrechte Kraft R der Kämpferdrücke in nicht ſehr bedeutendem Abſtande von der lotrechten Mittellinie des Gurtbogens. Das Gewicht, bezw. die fachgemäſse Uebermauerung desſelben wird eine lotrechte Kraft erzeugen, welche, mit R zu einer neuen Mittelkraft vereinigt, dieſe bis nahezu in die lotrechte Mittellinie des Gurtbogenquerſchnittes legt, oder falls die Uebermauerung des Gurtbogens entſprechend vorgenommen wird, ſchlieſslich die zuletzt erwähnte Mittelkraft ſelbſt durch jene Mittellinie bringt.

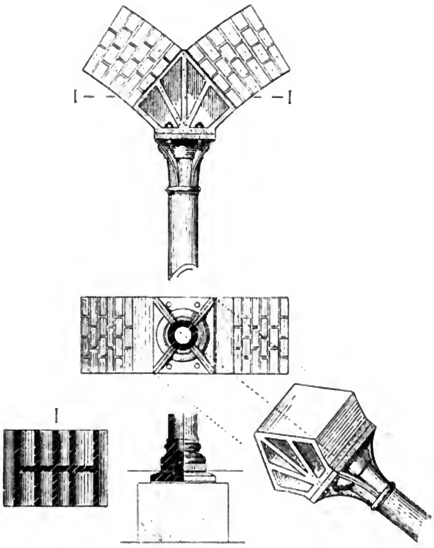
Derartige Vorteile für die Konſtruktion ſind alſo ohne groſse Mühe zu ſchaffen.

80. Gurtbogenpfeiler und Anfänger.

Sind zwei oder mehrere Gurtbogen als Bogenſtellungen anzuordnen, ſo erhalten je zwei derſelben einen gemeinſchaftlichen Zwiſchenpfeiler, den ſog. Gurtbogenpfeiler, als Stütze und am Kopfe desſelben ihr zuſammengehöriges Widerlager. Die Breite dieſer Pfeiler wird, wenn dieſelben aus Mauerwerk beſtehen, in der Regel gleich der Breite der Gurtbogen genommen, wenigſtens niemals gröſser gewählt. Die Länge derſelben richtet ſich nach der Gröſse des Druckes, welcher vermöge der Gurtbogen mit Kappenbelaſtung oder der ſonſt noch auf die Gurtbogen gelangenden Gewichte in Frage kommt. Sehr ſelten iſt jedoch die Länge dieſer Pfeiler ſo groſs, daſs dieſelbe gleich der wagrechten Projektion der beiden Widerlagsfugen der Gurtbogen würde. Vielmehr ſchneiden ſich die Rückenlinien der Gurtbogen über der lotrechten Achſe des Pfeilers in ziemlich hoher Lage über ihren Kämpferlinien. Infolge hiervon entſtehen über der Kämpferlinie beſondere Beſtandteile des Gurtbogens, die ſog. Gurtbogenanfänger. Werden die Pfeiler und die Anfänger aus Backſtein hergeſtellt, ſo gilt genau das in Art. 18 (S. 49) über derartige Gewölbanfänger Geſagte auch hier. Sollen die Anfänger aus Hauſteinen hergerichtet werden, ſo

können dieſelben nach Fig. 132 in den meiſten Fällen aus einem einzigen, nach den Wölblinien und den Widerlagsflächen der Gurtbogen bearbeiteten Quader beſtehen. Wird der Gurtbogenpfeiler aus Quadermaterial errichtet, ſo kann derſelbe bei nicht zu groſser Pfeilerhöhe aus einem Stücke beſtehen oder anderenfalls in Schichten von 30 bis 50 cm Höhe ausgeführt werden. Selbſtredend können ſtatt der Gurtbogenpfeiler auch Freiſtützen aus Backſteinmaterial gemauert oder aus Quadern beſtehend angeordnet werden, wenn nur in jedem Falle den betreffenden Stützkörpern der nötige Querſchnitt gegeben wird. Für die im Hochbauweſen auf-

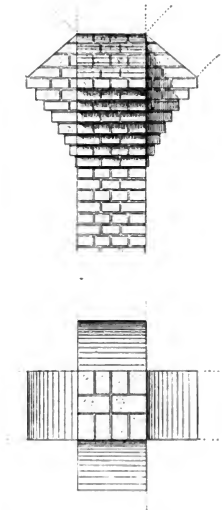
Fig. 133.



tretenden gewöhnlichen Belaſtungen beträgt die Länge der Backſteinpfeiler, gutes und feſtes Material vorausgeſetzt, 2 Stein bis 2½ Stein und die Länge der Quaderpfeiler bei feſtem Steinmaterial 40 bis 50 cm. Statt der aus Steinmaterial zu bildenden Gurtbogenpfeiler können ſelbſtverſtändlich auch guſseiſerne oder ſchmiedeeiſerne Säulen (Fig. 133) als Stützen in Anwendung kommen. Dieſe erhalten dann einen aus Backſtein oder aus Quadern angefertigten Anfänger über ſich oder unter Umſtänden ein guſseiſernes Kopfſtück, welches als Gurtbogenanfänger, wie in Fig. 133, ausgebildet iſt. Treten bei ſich kreuzenden Gurtbogenzügen vier Gurtbogen über einer gemeinſchaftlichen Freiſtütze zuſammen, ſo iſt der allen Gurtbogen zukom-

mende Anfänger, möge derfelbe aus Backftein oder aus Quadern beftehen, fo zu geftalten, dafs, wie Fig. 134 bei einem aus Backftein gebildeten Mauerkörper zeigt, alle vier Widerlagsflächen in entfprechender Gröfse vorhanden find.

Fig. 134.



Für eine forgfältig ausgeführte, vollftändig fichere Fundamentierung der Gurtbogenpfeiler oder Säulen ift unter jeder Bedingung zu forgen.

81. Beifpiel einer gröfseren Kappengewölbanlage.

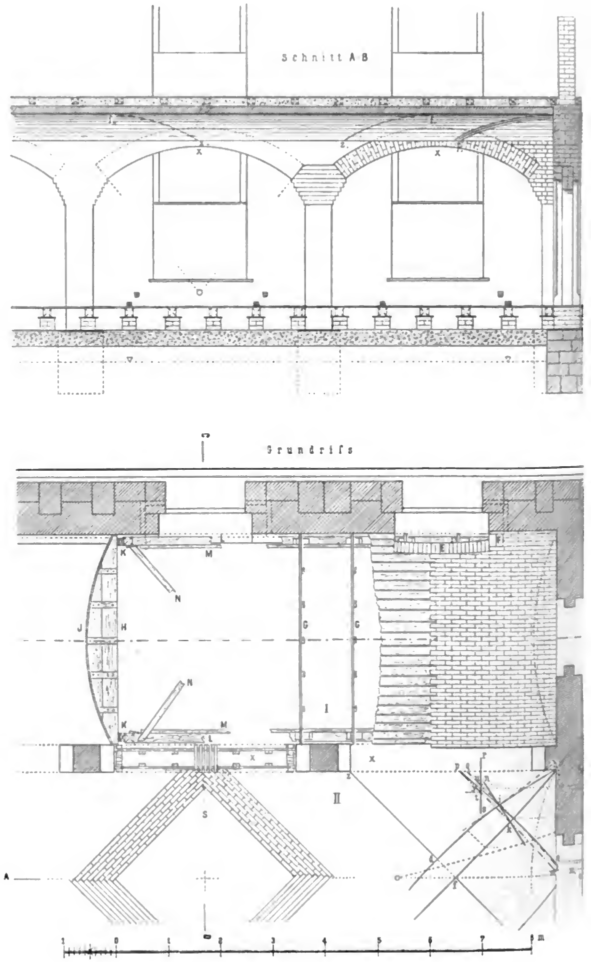
Unter Beobachtung der für die Kappengewölbe zwifchen Gurtbogen in Betracht kommenden Gefichtspunkte ift auf der nebenftehenden Tafel die Zeichnung einer Anlage von Kappengewölben gegeben. Im Grundrifs ift x, x ein Gurtbogenzug, welcher parallel mit der langen Umfangsmauer läuft. Die Anordnung der Gurtbogen mit ihren Vorlagen, Pfeilern und Anfängern ergiebt fich aus der Darftellung derfelben im Grundrifs und den Schnitten *AB*, bezw. *CD*. Im Teile *I* ift das Kappengewölbe als auf Kuf ausgeführt, während im Teile *II* die Einwölbung auf Schwalbenfchwanzverband angenommen ift.

Hinfichtlich des Feftlegens diefes letzteren Verbandes fei noch folgendes angegeben. Wenn auch im allgemeinen die Richtung der einzelnen Wölbftreifen unter einem Winkel von 45 Grad zu den Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes angenommen werden kann, fo empfiehlt fich doch, um eine zweckdienliche Verfpannung der Wölbftreifen mit ihren Nachbarftreifen zu erreichen, die Richtung derfelben fo zu nehmen, dafs diefelben in ihren wagrechten Projektionen als Schnittlinien von Ebenen mit der cylindrifchen Laibungsfläche des Gewölbes fich zeigen, welche für jeden Streifen in folgender Weife ermittelt werden.

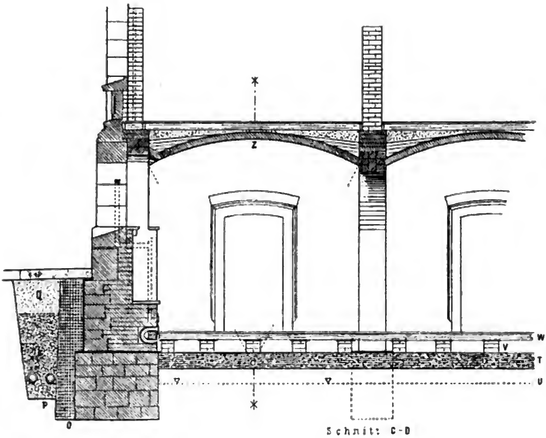
Eine lotrechte Ebene, deren Grundrifsfpur cf den Winkel zcm halbiert, welchen die Begrenzungen des Raumes an der Ecke c bilden, fchneidet die Laibungsfläche des Gewölbes in der krummen Linie hid. Diefelbe ift nach der Wölblinie der Kappe, alfo hier nach dem Flachbogen ab mit der Pfeilhöhe cb in bekannter Weife beftimmt. Sie ift ein Ellipfenftück. Ermittelt man für einen beliebigen Punkt i derfelben, welcher dem Punkt g des Flachbogens ab entfpricht, nach den Angaben zu Fig. 9 (S. 9) die Normale nik und führt man durch diefelbe eine rechtwinkelig zur Ebene der Kurve hid ftehende Ebene, fo fchneidet diefe Normalebene, gehörig erweitert, die Laibungsfläche des Gewölbes in einer krummen Linie, deren Grundrifsprojektion die Linie op ift.

Um die Grenzpunkte o, bezw. p zu erhalten, ift durch den Fufspunkt k der Normalen nk in der Kämpferebene cf des Ellipfenftückes cid, bezw. des Gewölbes felbft die wagrechte Spur pkm der Normalebene n gezeichnet.

Die Parallele zu pm durch den Punkt i geführt, liefert die Grundrifsprojektion einer wagrechten geraden Linie qil, deren Projektion in der Ebene der Wölblinie ab die durch den zu i gehörigen Punkt g gezogene, mit ac parallel laufende Gerade ift. Da nun die lotrechte Projektion des Punktes m auf ab in m_1, die lotrechte Projektion des Punktes l auf der entfprechend verlängerten wagrechten Geraden vg in l_1 erhalten wird, fo ergiebt fich in der Geraden $m_1 l_1$ die lotrechte Spur der Normalebene in der Ebene des Flachbogens ab. Diefe Spur trifft den Flachbogen ab im Punkte o_1. Die wagrechte Projektion des Flachbogens ab ift die Gerade cm; die Grundrifsprojektion von o_1 ift alfo der auf cm gelegene Punkt o. Der Grenzpunkt p liegt, wie fofort erfichtlich, in der Kämpferebene; die lotrechte Projektion desfelben ift alfo der Punkt a. Soll noch irgend ein zwifchen p und o gelegener Punkt diefer Schnittkurve in feinen Projektionen beftimmt werden, fo führt man parallel mit cm an beliebiger Stelle


Schnitt A-B
Grundrifs
A
B
S
II
I
0
1
2
3
4
5
6
7
8 m

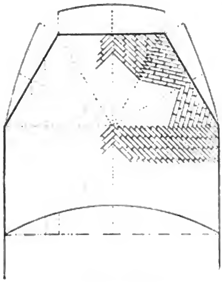
Anlage von Kappengewölben zwifchen Gurtbogen.



zwifchen p und o eine lotrechte Ebene, deren Spur rs fein möge. Diefe Spur fchneidet die vorhin gekennzeichneten Geraden pm und ql in den Punkten t und u. Die lotrechten Projektionen derfelben find offenbar w auf der Linie ae und v auf der Geraden $l_1 gv$; mithin würde wa die lotrechte Spur jener in rs parallel zur Ebene abc ftehenden lotrechten Ebene fein und die hier befindliche, der Bogenlinie ab völlig entfprechende Wölblinie im Punkte x durchfchneiden. Die wagrechte Projektion von x ift der gefuchte, auf rs gelegene Zwifchenpunkt y. Teilte man nunmehr die Kurve cid in Wölbfchichten von der Dicke eines Backfteines ein, fo könnten für jeden Teilpunkt in gleicher Weife die Normalebenen geführt und die zugehörigen Schnittlinien mit der Gewölbfläche in ihren wagrechten Projektionen aufgefucht werden.

Diefe wagrechten Projektionen bilden alsdann die Begrenzungen der einzelnen nebeneinander liegenden Wölbftreifen, deren Lagerfugenflächen überall in Normalebenen liegen, welche der durch die Ebene cf allgemein erzeugten Schnittlinie mit der Gewölbfläche angehören. Wird cf parallel mit fich felbft fortgerückt, fo können, felbftredend unter Benutzung der fchon beftimmten Linien von den Eigenfchaften der Streifenkanten po, die fämtlichen Wölbftreifen feftgelegt und in ihrem Verbande geordnet werden.

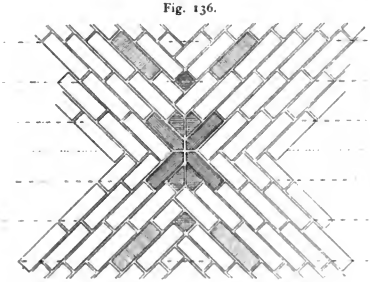
Fig. 135.



Diefe unter dem Namen »Schwalbenfchwanzverband« auftretende Wölbungsart wird von den Ecken des Raumes aus begonnen, d. h. allgemein da, wo die Stirnmauern mit den eigentlichen Widerlagsmauern zufammentreffen. Derfelbe eignet fich auch, wie Fig. 135 zeigt, für die Einwölbung vieleckig geftalteter Räume.

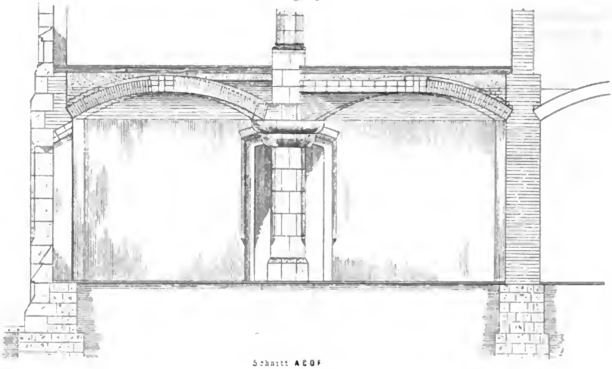
Wie aus dem Grundrifs in *II* auf der nebenftehenden Tafel hervorgeht, treffen fich die einzelnen Wölbftreifen auf der Scheitellinie *AB* und der Wölblinie *S* in der Mitte des Gewölbes in zickzackförmigem Verbande, fo dafs zuletzt ein nahezu quadratifcher Schlufsftein übrig bleibt. Beim Zufammentreten der nach entgegengefetzter Richtung verlaufenden Wölbftreifen über *AB* und *S*, dem fog. Schnäbeln der Schichten, ift auf forgfältige Mauerung und Mörtelung zu achten. Da, wie bei der Stabilitätsunterfuchung der Kappengewölbe mit diefem Verbande in Fig. 121 (S. 138) gefunden ift, fämtliche Umfangsmauern, bezw. die Gurtbogen, welche mit als Widerlager auftreten müffen, Gewölbfchub aufzunehmen haben, fo ift auch für die Stirnmauern ein entfprechender Widerlagsfalz für die hier antretenden Wölbftreifen vorzufehen. In der Regel wird gleich bei der Ausführung der Stirn- oder Schildmauern durch geeignete Ausfparung der Anfchlufsfalz hergeftellt.

Fig. 136.

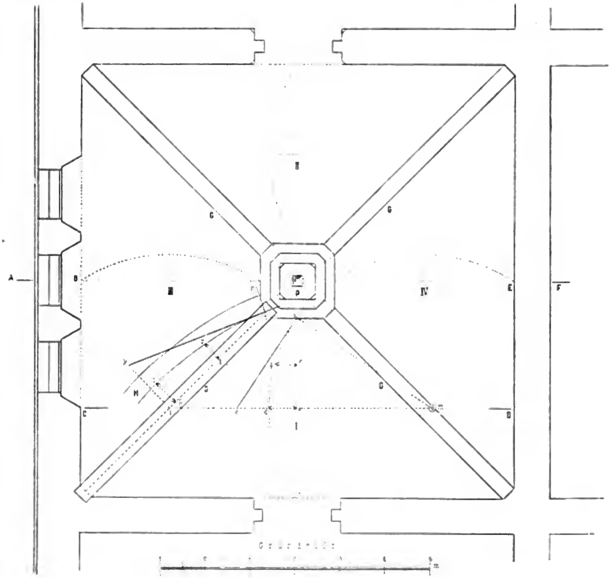


Eine andere Anordnung des Schwalbenfchwanzverbandes zeigt noch Fig. 136. Bei diefer Einwölbungsart, welche bei Kappengewölben benutzt werden kann, wenn ihre Laibungsflächen ohne Putzüberzug bleiben, vielmehr in farbig geftalteter Backfteinmufterung auftreten follen, wird die Wölbung in der Mitte der Scheitellinie mit vier gefchnäbelten, fich kreuzenden Steinen begonnen, deren Achfen unter 45 Grad nach den Umfaffungsmauern

Fig. 137.



Schnitt ACDF



Grundriss

gerichtet find. Diefer Richtung folgend, find alsdann alle übrigen Wölbftreifen in regelrechtem Verbande, auch etwa einem beabfichtigten Mufter gemäfs geordnet, einzufügen.

Müffen in Kappengewölben Stichkappen eingelegt werden, fo gelten für diefelben die in Art. 45 (S. 95) gegebenen Entwickelungen. Auf der Tafel bei S. 158 ift bei E der Gewölbkappe I der Kranz einer Stichkappe nebft der Aufmauerung F für das Ohr derfelben gezeichnet. 82. Stichkappen.

Auf derfelben Tafel ift auch die Stellung G der Wölbfcheiben JH und ihrer Unterlagerung durch Keile K auf dem Untergerüft L mit feinen Abfpreizungen M, bezw. N angegeben. Auch ift für das Trockenhalten des Raumes und des Fufsbodens in Bezug auf den höchften Grundwafferftand U durch die Betonfchicht T, die Ifolierung der Mauerkörper der Umfangsmauern, bezw. Scheidemauern u. f. f., die Untermauerung V der Fufsbodenlager W, fowie durch Luftbewegung unterhalb des Fufsbodens das Nötige dargeftellt. Aufserdem ergiebt fich aus dem Schnitte CD die Anordnung des Schutzes der Umfangsmauern gegen Feuchtigkeit. O ift eine Thonfchicht; P find Drainrohre; E ift Steinfchlag, und Q ift eine Kieslage. Die Aufsenfeite der Grundmauer ift mit einem Anftrich von Goudron (Teer) verfehen.

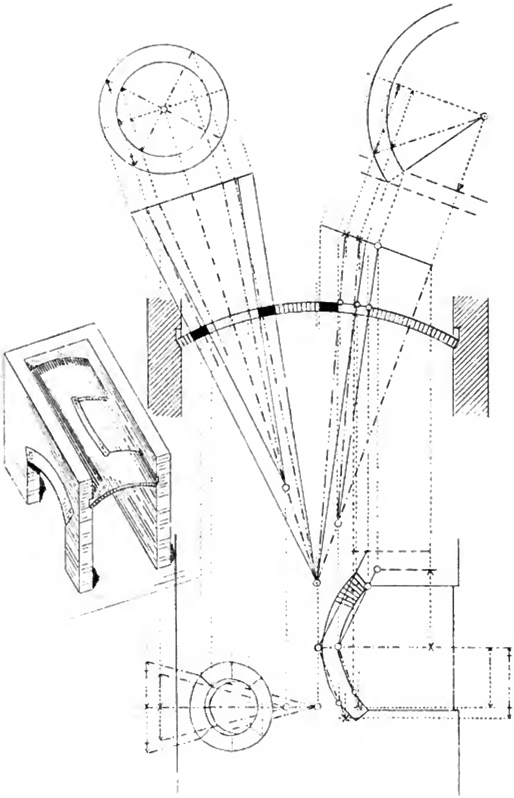
In manchen Fällen, namentlich bei quadratifcher Anlage von Räumen bis zu etwa 8 m Seitenlänge, kann man die Gurtbogen zur Zerlegung der Gewölbekappen auch ganz vermeiden und diefelben durch einen Pfeiler, bezw. durch eine Säule aus Stein oder Eifen erfetzen. Eine folche Anordnung zeigt Fig. 137, wobei vier Kappengewölbe fich gegen einen Pfeiler legen, welcher im Inneren ein Rauchrohr p enthält. Die Kappen I bis IV fchneiden fich in Gratlinien in der Richtung hi, welche die inneren Wölblinien der Grate G bilden. Diefe find, wie aus dem Schnitte $ACDF$ hervorgeht, um ½ Stein ftärker ausgeführt, als die Kappengewölbe. Die Ausmittelung diefer Wölblinie hH nach der Wölblinie ab der Kappen erfolgt in der aus der Zeichnung zu erfehenden Weife. Die Anfatzfläche der Grate G am Pfeiler gehört der Normalebene hn zum Ellipfenftücke hH an. Die Gefamtanordnung diefer Deckenkonftruktion ift aus der Darftellung ohne weiteres erkennbar.

Müffen in Kappengewölben Oeffnungen für Aufzüge, Treppen, Deckenlichter u. f. w. gelaffen werden, fo find diefelben in geeigneter Weife mit Gewölbkränzen, wie in Fig. 138 gezeigt ift, zu umgeben. Auf diefe Kränze wird der Gewölbfchub der antretenden Wölbfchichten übertragen. Die Laibungs- und Rückenflächen diefer Kränze gehören Kegelflächen an. Ihre Durchbildung entfpricht der Anordnung der in Art. 47 (S. 97) gegebenen Kranzkonftruktion bei kegelförmigen Stichkappen vollftändig, und deshalb kann hier die weitere Befprechung derfelben unterbleiben. Für kleinere Oeffnungen im Gewölbe kann auch ftatt des Kranzes ein runder oder quadratifcher eiferner Rahmen eingefetzt werden, welcher, wenn die Oeffnung als Deckenlicht dienen foll, gleich als Zarge oder Rahmen für die Verglafung zu benutzen ift.

Die fteigenden Kappengewölbe, welche bei Treppenanlagen mannigfach zur Ausführung gelangen, ftimmen im Grundzuge mit den in Art. 11 (S. 19) behandelten Tonnengewölben überein. Ihre Verbandart entfpricht derjenigen des gewöhnlichen geraden Kappengewölbes. 83. Steigende Kappengewölbe.

Sollen gröfsere Räume mit Kappengewölben überdeckt werden, ohne dafs Gurtbogenftellungen benutzt werden, fo wird ein aus eifernen Trägern mit Säulenunterftützung beftehendes Balkenfyftem gefchaffen, welches in feinen Feldern die Gewölbkappen aufnimmt. Bei folchen Anlagen, welche bei Fabriken, landwirtfchaftlichen Bauwerken u. f. w. in ausgedehntem Mafse gefchaffen werden, tritt die Eifenkonftruktion in den Vordergrund, während die eigentliche gewölbte Decke 84. Ueberwölbung gröfserer Räume.

Fig. 138.



ganz nach den im vorhergegangenen gegebenen Vorfchriften entworfen und ausgeführt werden kann.

Die Befprechung von Eifenkonftruktionen, welche für die Bildung von derartigen Decken geeignet find, wird unter C ftattfinden.

13. Kapitel.

Kloftergewölbe und Muldengewölbe.

a) Kloftergewölbe.

1) Geftaltung der Kloftergewölbe.

Das Kloftergewölbe zeigt in feiner Laibungsfläche feitlich nebeneinander tretende cylindrifche Flächen. Die Erzeugenden derfelben find parallele gerade Linien, wovon die Anfangserzeugende jedesmal eine in der Kämpferebene liegende Seitenlinie der Grundrifsfigur des Gewölbes ift. Ihre Schnittlinien find ebene Kurven, jedoch in ihrer Grundrifsprojektion gerade Linien, welche von den Ecken der Grundfigur nach einem gemeinfchaftlichen, innerhalb derfelben gelegenen Punkte gezogen werden können. In den meiften Fällen ift diefer Punkt der Schwerpunkt der Grundfigur, immer aber die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes. 85. Form.

Ift für irgend eine der cylindrifchen Flächen des Kloftergewölbes eine ebene Kurve als Leitlinie feftgefetzt, fo find hiervon fowohl die Leitlinien aller übrigen Wölbflächen, als auch die fämtlichen Schnitt- oder Durchdringungslinien derfelben abhängig zu machen.

Diefe für eine beliebige Wölbfläche feftzufetzende Leitlinie kann ein Flachbogen, ein Viertelkreis, ein fteil auffteigender Kreisbogen, ein elliptifcher Bogen, ein Parabelbogen u. f. w. fein. Der tieffte Punkt einer folchen Urfprungsleitlinie liegt in der Kämpferebene des Gewölbes, während ihr höchfter Punkt mit dem Scheitelpunkt des Gewölbes zufammenfällt.

Die Grundrifsfigur kann als Dreieck, Quadrat, Rechteck oder als regelmäfsiges, bezw. unregelmäfsiges Vieleck gegeben fein. Das Feftlegen der cylindrifchen Wölbflächen erleidet in der angegebenen grundlegenden Bildung keine Aenderung. Am beften eignen fich jedoch für die Anlage von Kloftergewölben regelmäfsig angeordnete Grundrifsformen.

Die Zahl der einzelnen zufammenzufügenden Flächen entfpricht der Seitenzahl der gegebenen Grundrifsfigur. Ift diefe Figur ein gefchloffener Kreis oder eine gefchloffene Ellipfe, fo entfteht eine Laibungsfläche, welche derjenigen der Kuppelgewölbe entfpricht, die alsdann aber, da nunmehr die Schnittlinien der einzelnen cylindrifchen Flächen verfchwinden, in ihrer Konftruktion von derjenigen der Kloftergewölbe wefentlich abweicht.

Ift die Leitlinie der als Beftimmungsfläche genommenen Wölbfläche eine fteil auffteigende, gefetzmäfsig gebildete ebene Kurve, fo entfteht bei einem Vieleck als Grundrifsfigur ftets ein Kloftergewölbe, welches auch wohl die Namen Haubengewölbe oder Walmkuppel führt, jedoch nicht mit der Bezeichnung Kuppelgewölbe belegt werden follte.

Da die fämtlichen Wölbflächen des Kloftergewölbes von den Umfangsfeiten des zu überwölbenden Raumes aus beginnen und jede derfelben als ein Teil eines Tonnengewölbes anzufehen ift, welches an diefen Seiten feine Fufsfläche findet, fo treten fämtliche Umfangsmauern des Raumes als Widerlagsmauern auf. Der Abftand des vorhin bezeichneten, in feiner wagrechten Projektion beftimmten Scheitelpunktes von der wagrechten Kämpferebene beftimmt die Pfeilhöhe oder kurz die

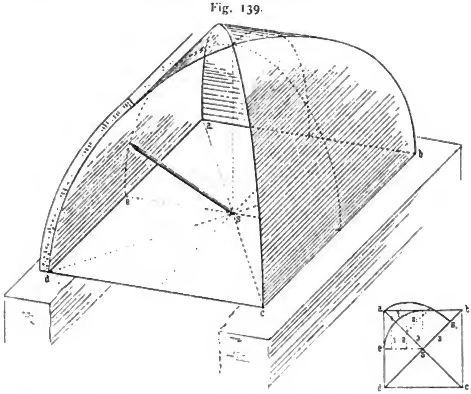
Höhe des Kloſtergewölbes. Dieſelbe kann je nach den für die Durchbildung des Gewölbes zu ſtellenden künſtleriſchen, bezw. ſtatiſchen Anforderungen entſprechend groſs oder klein genommen werden.

Die Schnitt- oder Durchdringungslinien der Wölbflächen heiſsen **Gratlinien**, **Grate** oder **Gräte**.

Die den cylindriſchen Flächen zugehörigen Gewölbkörper nennt man **Gewölbkappen** oder auch **Gewölbwangen**. Zwei zuſammentretende Gewölbkappen bilden eine **Kehle**. Die innere Kehllinie iſt die Gratlinie. Der Winkel einer Kehle entſpricht demjenigen Winkel, welchen die zuſammentreffenden Umfangsmauern bilden, von deren Schnittlinie die Gratlinie der Kehle ausläuft.

Aus den gegebenen allgemeinen Anordnungen eines Kloſtergewölbes iſt zu erkennen, daſs die Geſtaltung desſelben eine äuſserſt mannigfache, ja ſelbſt in künſtleriſcher Beziehung bei groſs angelegten Verhältniſſen eine reiche und anſprechende

Fig. 139.



ſein kann. Bei den gewöhnlichen einfachen Kloſtergewölben über rechteckigen oder quadratiſchen Räumen mit beſchränkter Konſtruktionshöhe iſt allerdings die Wirkung in baukünſtleriſcher Richtung nur äuſserſt mäſsig. Im weiteren Verlaufe der Beſprechung des Kloſtergewölbes wird ſich jedoch zeigen, daſs die Geſtaltung desſelben in verſchiedener Weiſe zu ſeinen Gunſten zu bewirken iſt, ſo daſs ſich die hier und da auftretende, oft ſtiefmütterlich erſcheinende Behandlung des Kloſtergewölbes vermeiden läſst.

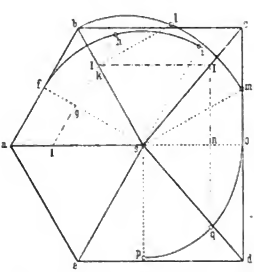
86. Einfache Kloſtergewölbe.

In Fig. 139 iſt die Form eines einfachen Kloſtergewölbes mit quadratiſchem Grundriſs *abcd* gegeben. Die geraden Linien *as*, *bs*, *cs* und *ds* ſind die wagrechten Projektionen der Gratlinien des Gewölbes. Die Urſprungsleitlinie der Gewölbkappe über *asd* iſt ein mit dem Halbmeſſer *se*, gleich der Länge der Ordinate *3*, um *s* beſchriebener Viertelkreis. Der Punkt *e* iſt der Mittelpunkt der Seite *ad*. Die Länge der Ordinate *3* beſtimmt die Pfeilhöhe des Kloſtergewölbes. Die wirkliche

Gratlinie $a s_1$, hier eine Viertelellipſe, iſt in bekannter Weiſe mittels der Ordinaten *1*, *2* und *3* feſtgelegt. Für dieſes Gewölbe ſind die Leitlinien aller übrigen Kappen *a s b*, *b s c* und *c s d* dieſelben Viertelkreiſe, wie für die Kappe *a s d*, und ebenſo ſind alle Gratlinien über *b s*, *c s* und *d s* der Viertelellipſe $a s_1$ gleich. Aus dem Bilde in Fig. 139 ergiebt ſich, in welcher Weiſe die einzelnen Gewölbkappen in den Graten zuſammentreffen und, von den Umfangsmauern aufſteigend, im Scheitelpunkte des Gewölbes gemeinſam endigen.

Für die Geſtaltung der Wölbflächen über einem Vieleck (Fig. 140) erwachſen gleichfalls keine Schwierigkeiten. Hier iſt die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes der Schwerpunkt *s* des Fünfeckes *a b c d e*. Gerade Linien, von *s* nach den Mitten der Seiten, z. B. *s f* nach dem Mittelpunkte *f* von *a b*, *s o* nach dem Mittelpunkte *o* der Seite *c d* gezogen, geben die wagrechten Projektionen der Leitlinien der einzelnen Gewölbkappen. Dieſelben ſind hier gleichzeitig Lote, welche von *s* auf die Umfangsſeiten gefällt werden können. Bei ganz unregelmäſsiger Grundriſsform bleiben dieſelben meiſtens keine Lote der Seiten, ſondern laufen am zweckmäſsigſten von *s* nach den Mittelpunkten derſelben. Die wagrechten Projektionen der Gratlinien ſind wiederum die von *s* nach den Ecken *a*, *b*, *c* u. ſ. f. gehenden geraden Linien *s a*, *s b*, *s c* u. ſ. f.

Fig. 140.



Wird nun für eine Gewölbkappe, z. B. für *a b s*, eine beliebig gewählte, geſetzmäſsig geformte Kurve, hier ein Viertelkreis *f i* um *s* mit dem Halbmeſſer *s f* beſchrieben, als Urſprungsleitlinie feſtgeſetzt, ſo giebt *s i* = *s f* als Lot von *s* auf *s f* die Pfeilhöhe des Gewölbes. Legt man durch den beliebigen Punkt *h* der Leitlinie *f i* eine wagrechte Ebene, ſo laufen die Schnittlinien *I I*, *I I* u. ſ. w. dieſer Ebene auf den ſämtlichen Gewölbflächen, die gleichfalls in einer wagrechten Kämpferebene beginnen, parallel mit den zugehörigen Kämpferlinien der Gewölbkappen, d. h. parallel mit den Seiten der Grundriſsfigur. Gerade Linien mit den Eigenſchaften der Geraden *I I* ſind Erzeugende der Gewölbkappen.

Soll nun ein Punkt *l* einer Gratlinie, z. B. derjenigen über *b s*, gefunden werden, ſo iſt im Schnittpunkte *k* der Linie *I I* mit *b s* das Lot *k l* auf *b s* zu errichten, deſſen Länge gleich iſt dem Lote *g h*, errichtet im Schnittpunkte *g* der Linie *I I* mit der wagrechten Projektion *f s* der Hauptleitlinie *f i* der Gewölbkappe *a s b*; denn *g h* iſt die Ordinate dieſer Leitlinie für die Erzeugende *I I*. In gleicher Weiſe iſt auch die Leitlinie *o p* der beliebig genommenen Gewölbkappe *c s d* beſtimmt. Für dieſelbe muſs das Lot *n q* auf *s o* gleich *g h* = *k l* ſein.

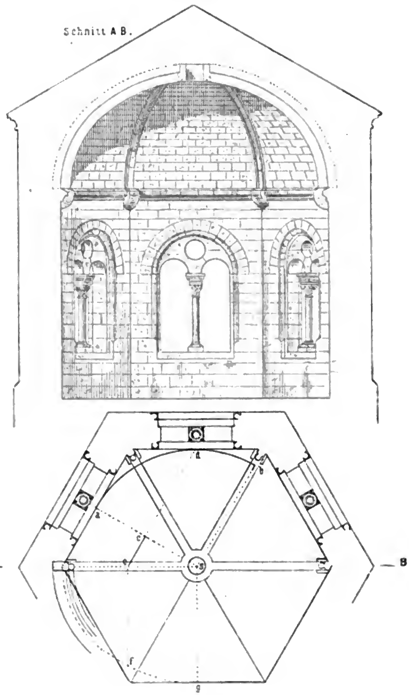
Kloſtergewölbe über ſehr unregelmäſsig begrenzten Räumen gewähren niemals ein ſchönes Ausſehen. Sollen aber ſolche Gewölbe auch bei dieſen Räumen durchaus in Anwendung kommen, ſo erfolgt die Ausmittelung der Wölbflächen genau ſo, wie ſoeben für Fig. 140 angegeben iſt.

Ebenſo gut nun, wie nach Annahme einer Hauptleitlinie für eine Gewölbkappe die Geſtaltung des Kloſtergewölbes vorgenommen iſt, kann umgekehrt auch nach

Feftlegen einer gewählten Kehl- oder Gratlinie die Geftalt der Leitlinien fämtlicher Kappen und der übrigen Gratlinien beftimmt werden, ohne am Grundgedanken Aenderungen eintreten zu laffen. Von diefer Freiheit wird fpäter noch ausgiebiger Gebrauch zu machen fein.

Betrachtet man die Gratlinien für fich wieder als Wölblinien fchmaler Tonnengewölbe, fo laffen fich diefe als befondere Gewölbkörper zu fog. Gratbogen geftalten, gegen welche fich die einzelnen Wangen des Kloftergewölbes legen. Diefe Gratbogen, entfprechend mit Anfatzflächen für die Kappen verfehen, treten dann zweckmäfsig in den Kehlen vor und erhalten hier eine mehr oder weniger reiche Gliederung. Durch folche Anordnung ift neben einem Gewinn an architektonifcher und unter Umftänden auch an konftruktiver Durchbildung ein Beleben der immerhin ernft erfcheinenden Gewölbkappen möglich.

Fig. 141.



In Fig. 141 ift ein derartiges Beifpiel für ein Kloftergewölbe über einem regelmäfsig fechseckigen Raume gegeben. Die Ausmittelung eines Gratbogens ift unter Berückfichtigung des hierüber bereits Gefagten vorgenommen. Die Gratbogen find im Scheitel gemeinfchaftlich gegen einen gewölbten Kranz oder Ring gefetzt, welcher gleichfam als der mit einer Oeffnung verfehene Schlufsftein des Gewölbes auftritt.

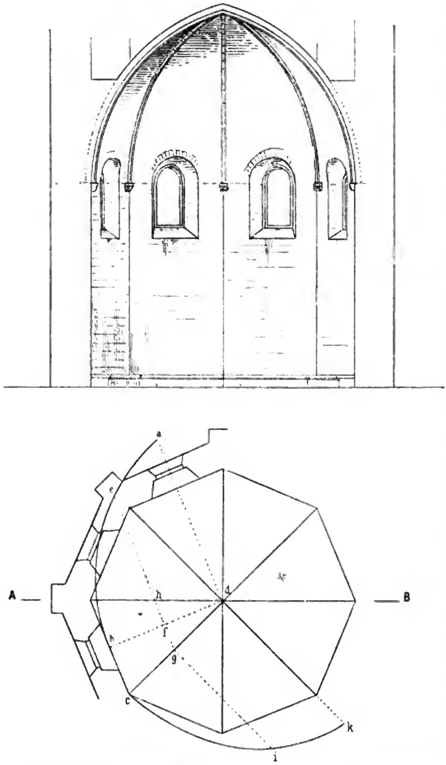
87.
Kloftergewölbe mit Stichkappen.

Sind die oberen Abfchlüffe von Thür- oder Lichtöffnungen der Umfangsmauern der Kloftergewölbe höher zu legen als die Kämpferenden desfelben, fo find, wie für die Tonnengewölbe in Art. 14 (S. 21) erwähnt, auch die Kloftergewölbe in ihren

Wangen, welche von jenen Oeffnungen in Mitleidenſchaft gezogen werden, mit Stichkappen zu verſehen. Die Anlagen von Stichkappen oder Lunetten können für ſämtliche Gewölbkappen, ſelbſt dann, wenn in den zugehörigen Widerlagsmauern gar keine Oeffnungen vorhanden ſind, ſtattfinden. Hierdurch erfahren die Kloſtergewölbe ein leichteres und freieres Ausſehen, als ſolches bei einem gewöhnlichen Kloſtergewölbe ohne Lunetten der Fall iſt.

Fig. 142.

Schnitt **AB**.



Für die Form und Durchbildung ſolcher Stichkappen gilt das hierüber in Art. 45 (S. 95) bereits Mitgeteilte.

In Fig. 142 iſt ein Kloſtergewölbe mit kleineren Stichkappenanordnungen und Graten, welche an den Kehllinien vortreten, gegeben.

Die Urſprungsleitlinie *ab* der Gewölbkappen iſt ein Kreisbogen, deſſen Halbmeſſer gröſser iſt, als das Lot *db* auf *bc*. Die Gratbogen *ck* ſind Ellipſenſtücke, welche alsdann ſpitzbogenartig über dem achteckigen Raume zuſammentreten. Irgend ein Punkt *i* des Gratbogens iſt zu beſtimmen, indem man z. B. die gerade Erzeugende *gh* parallel zu *bc* zieht, im Schnitte *f* derſelben mit dem Lote *db*, d. h. der wagrechten Projektion der Leitlinie *ab*, das Lot *fe* auf *db* errichtet und das in *g* auf *dc*, d. h. der wagrechten Projektion des Gratbogens, errichtete Lot $gi = fe$ abträgt.

Durch dieſes Feſtſtellen der Gewölbform nimmt das Kloſtergewölbe die Geſtaltung eines Haubengewölbes oder einer Walmkuppel an.

Man kann jedoch ohne Benutzung der eigentlichen Stichkappen in einfacher

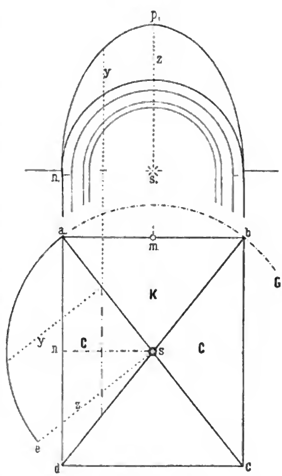
Weiſe, namentlich bei einer Deckenbildung durch Kloſtergewölbe über regelmäſsig begrenzten Grundriſſen, einzelne Umfangsmauern mit gröſseren Thür-, bezw. Fenſteröffnungen verſehen, ſobald eine weitere beſondere Umgeſtaltung des eigentlichen Kloſtergewölbes in Betracht gezogen wird.

68. Kloſtergewölbe mit ſphäriſchen Kappenteilen.

Die Grundlage für dieſe Geſtaltung der Kloſtergewölbe beſteht in der Vereinigung der eigentlichen cylindriſchen Gewölbwangen mit ſphäriſchen Gewölbkappen, wobei die ſämtlichen Gewölbflächen von Gratlinien abhängig gemacht werden, welche beſtimmt vorgeſchriebenen Kreisbogen entſprechen.

Für die Entwickelung der nach dieſer Anſchauung zu bildenden Gewölbflächen möge zunächſt die Deckenanordnung für einen rechteckigen Grundriſs (Fig. 143) behandelt werden. Die wagrechten Projektionen der im Scheitelpunkte des Gewölbes zuſammentretenden Gratbogen ſind die Hälften der Diagonalen des Rechteckes. Nimmt man die Gratlinie über as als Viertelkreis ae mit dem Halbmeſſer sa an und bemerkt man ferner, daſs hier ohne weiteres auch der Gratbogen über bs ein ebenſolcher Viertelkreis mit dem Halbmeſſer $sb = sa$ wird, ſo ſchneiden ſich dieſe beiden Kreisbogen in einem Punkte, dem Scheitelpunkte des Gewölbes. Beide Kreiſe ſind dann aber Teile von zwei gröſsten Kreiſen einer Kugelfläche, deren Mittelpunkt s und deren Halbmeſſer ebenfalls $sa = sb$ iſt. Der Mittelpunkt s dieſer Kugelfläche liegt in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes, welche auch die Eckpunkte a und b des gegebenen Rechteckes enthält. Danach iſt auch der um s mit dem Halbmeſſer sa durch a und b gehende Kreis G ein gröſster Kugelkreis. Die Laibungsfläche der Gewölbkappe K, welche zwiſchen den Kugelkreiſen über sa und sb liegt, kann alſo als Kugelfläche eingefügt werden. Die in ab errichtete lotrechte Ebene ſchneidet dieſe Kugelfläche

Fig. 143.



nach einem Halbkreiſe mit dem Halbmeſſer $ma = mb$. Dieſer Halbkreis iſt der Stirnbogen der Kugelkappe K. Sein Scheitelpunkt liegt über der Kämpferebene, ſo daſs die Möglichkeit vorhanden iſt, im Mauerkörper ab eine Thür- oder Lichtöffnung mit der oberen Begrenzung gleichfalls über der Kämpferebene abſchlieſsen zu können. In gleicher Weiſe läſst ſich auch die Gewölbkappe csd als Kugelkappe einführen. Dagegen mögen die mit C bezeichneten Gewölbkappen cylindriſche Laibungsflächen behalten, alſo Kappen des eigentlichen Kloſtergewölbes bleiben. Ihre Leitlinien ſind nun aber von den für die Gratlinien as, bezw. bs angenommenen Kreisbogen abhängig zu machen. Dieſe Leitlinien werden hier Viertelellipſen, welche in bekannter Weiſe, z. B. über ns vermittelst der Ordinaten y, z u. ſ. w. als $n_1 p_1$ zu beſtimmen ſind.

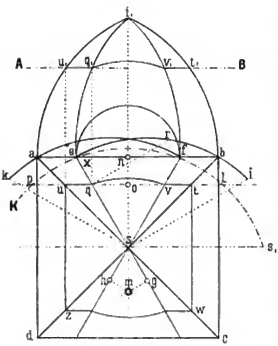
Würden dieselben Maſsnahmen für eine quadratiſche Plananlage getroffen, ſo entſtänden auch hierbei keine Aenderungen in den grundlegenden Beſtimmungen für die Ausmittelung der Gewölbflächen.

Man braucht aber auch nicht eine einzelne Gewölbkappe in ihrer Geſamtheit als Kugelkappe anzuordnen, ſondern kann nur einen Teil derſelben in geeigneter Lage innerhalb der Wange des Kloſtergewölbes als Kugelkappe einreihen.

In Fig. 144 iſt dieſe Geſtaltung für ein Kloſtergewölbe über einem quadratiſchen Raume gegeben. Das Stück esf der Wange asb ſoll eine Kugelkappe werden.

Die ſymmetriſch zur Gewölbachſe sn gelegenen Schnittlinien der Kugelkappe mit der Wange des Kloſtergewölbes ſind in ihren Grundriſsprojektionen die geraden Linien es und fs. Die Schnittlinien ſelbſt ſollen gegebene Kreisbogen ei, bezw. fk ſein, deren Mittelpunkte g, bezw. h hier in der Kämpferebene und auf den verlängerten Geraden es, bezw. fs liegen. Dieſe beiden Kreisbogen beſtimmen eine Kugelfläche, deren Mittelpunkt m im Schnittpunkte der in g auf es und in h auf fs errichteten Lote liegen muſs. Der Halbmeſſer dieſer Kugelfläche iſt $me = mf$. Der um m mit dieſem Halbmeſſer geſchlagene Kreis K iſt ein gröſster Kreis derſelben. Die in ab aufgeſtellte lotrechte Ebene ſchneidet die Kugelfläche in einem um n mit $ne = ef$ beſchriebenen Halbkreiſe, welcher zugleich die Stirnlinie der Kugelkappe über esf bildet. Die lotrechte Ebene in ns ſchneidet die Kugelfläche nach dem Kreisbogen fs_1, welcher der Scheitellinie der Kugelkappe entſpricht. Die ſeitlich von den Schnittlinien es und fs der Kugelkappe befindlichen Gewölbſtücke ase und bsf ſind Wangenſtücke der cylindriſchen Kappe des Kloſtergewölbes. Da die Erzeugenden dieſer Kappe gerade wagrechte Linien ſind, welche parallel zu den Kämpferlinien ae, bezw. bf bleiben, ſo wird die Gratlinie as, bezw. bs von den Kreisbogen ei, bezw. fk abhängig gemacht; man erhält hierfür Ellipſenſtücke, worin z. B. die Punkte u_1 und t_1 dieſelbe lotrechte Höhe $xq_1 = qr$ über der Kämpferebene beſitzen, wie die Punkte q_1 und v_1 der Schnittlinien über es, bezw. fs. Die in op parallel zu ab ſtehende Ebene

Fig. 144.



ſchneidet die Wangenſtücke ase und bsf in geraden Linien, deren wagrechte Projektionen in uq und vt, deren Aufriſſe in u_1q_1 und v_1t_1 erhalten werden. Die wagrechte Projektion des Schnittes dieſer Ebene mit der Kugelkappe esf würde die gerade Linie qv ſein, während die lotrechte Projektion desſelben der um n beſchriebene Kreisbogen q_1v_1 iſt. Der Halbmeſſer nq_1 dieſes Kreisbogens iſt gleich der Länge der geraden Linie op, d. h. gleich der halben Länge der Sehne pl des gröſsten Kreiſes K in der Spur op jener Ebene. Eine durch die Punkte u_1t_1 gelegte wagrechte Ebene AB ſchneidet die Laibungsflächen des Wölbſyſtems in der Grundriſsprojektion im Linienzuge $uqvtwz$, wovon z. B. der Kreisbogen qv wiederum, als zur Kugelkappe gehörend, auf der Kugelfläche liegt, deren Mittelpunkt m iſt. Derſelbe iſt ein Teil eines Parallelkreiſes dieſer Kugelfläche. Sein Halbmeſſer iſt $mq = mv$. Die geradlinigen Teile des bezeichneten Linienzuges ſind Erzeugende der ihnen zukommenden cylindriſchen Flächen des eigentlichen Kloſtergewölbes.

Nach dieſen Grundlagen können auch bei einem Haubengewölbe Kugelkappen mit Wangen des eigentlichen Kloſtergewölbes abwechſelnd in Verbindung gebracht werden. Die hierfür erforderliche Ausmittelung der Gewölbflächen iſt ohne weiteres aus Fig. 145 zu entnehmen.

Sollen in einer Wange der hier betrachteten Gewölbe mehrere nebeneinander liegende Kugelkappen zur weiteren Gliederung der Wangenfläche angebracht werden, ſo tritt nur eine wiederholte Anwendung des angegebenen Verfahrens ein.

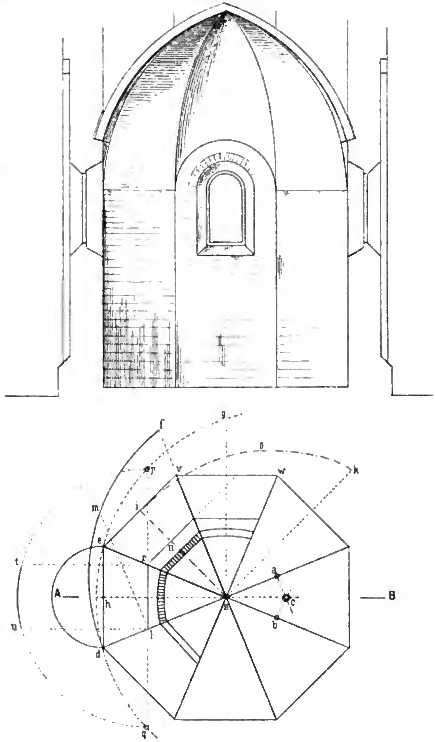
In Fig. 146 ſind für die Wange asb eines Kloſtergewölbes drei Kugelkappen eingeſchaltet, deren

Schnittlinien in der Grundrifsprojektion die vom Scheitelpunkte *s* auslaufenden Geraden *se*, *sh* u. f. f. find, deren wirkliche Form aber beftimmten Kreisbogen entfpricht, welche von *e*, *h* u. f. f. auffteigen und fämtlich einen einzigen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt befitzen, und zwar hier den Scheitel des ganzen Gewölbes.

Wenngleich vorweg einer diefer Bogen mit feinem in der Kämpferebene und auf der unter Umftänden weit über *s* hinaus zu verlängernden Geraden *es*, bezw. *hs* gelegenen Mittelpunkte beliebig gewählt werden kann, fo empfiehlt es fich doch zur Feftlegung der Höhe des Scheitels und der Entwickelung der allgemeinen Form des Gewölbes, zuerft einen Verfuchskreisbogen *ac* in der lotrechten Ebene einer Gratlinie anzunehmen, um danach weiter auch ein fchickliches Auffteigen der Gewölbflächen beurteilen zu können. Selbftverftändlich gilt diefer Kreisbogen nicht als wirkliche Gratlinie; denn diefe mufs vom zunächftliegenden Kreisbogen der Kugelkappe abhängig werden, alfo fpäter fich als Ellipfenftück feftlegen laffen.

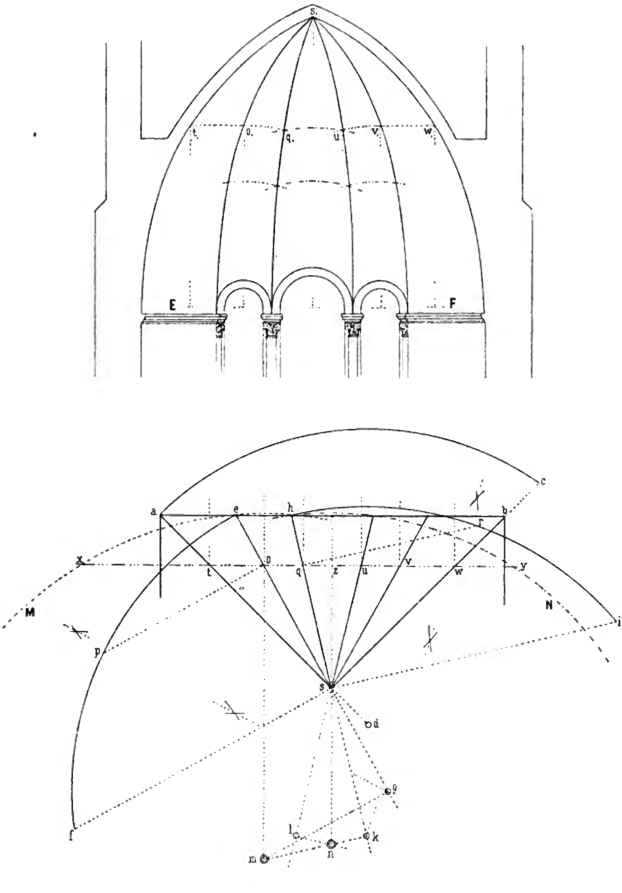
Fig. 145.

Schnitt A B.



Hiernach fei *sc* die Scheitelhöhe des Gewölbes. Um den Kreisbogen der Schnittlinie für *es* zu beftimmen, ift in *s* auf *es* das Lot *sf* errichtet und *sf* = *sc* genommen. Das in der Mitte der hier nicht gezeichneten Sehne *ef* des gefuchten Kreisbogens errichtete Lot trifft die verlängerte Gerade *es* im Mittelpunkte *g* des nun zu fchlagenden Kreisbogens *ef*. In gleicher Weife ift der Kreisbogen *hi* der Schnittlinie über *hs* mit dem Mittelpunkte *k* beftimmt. Beide Kreisbogen befitzen nun in Wirklichkeit den Scheitelpunkt des Gewölbes als einen gemeinfchaftlichen Schnittpunkt. Die Punkte *e*, *h* und die Mittelpunkte *g*, *k* liegen in einer und derfelben Ebene, hier in der Kämpferebene *EF*. Sie gehören einer Kugelfläche an, deren Mittelpunkt *m* fich als der Schnittpunkt der Lote ergiebt, welche in *g* auf *eg* und in *k* auf *hk* errichtet find. Der Halbmeffer diefer Kugelfläche ift *me* = *mh*. Befchreibt man um *m* mit diefem Halbmeffer einen Kreis *M*, fo erhält man in demfelben den gröfsten Kreis der Kugelfläche, welche die Laibungsfläche der Kappe *esh* bildet. Die in *eh* ftehende lotrechte Ebene fchneidet diefe Fläche in einem Halbkreife mit dem Durchmeffer *eh*, giebt alfo den Stirnbogen der Kugelkappe *esh*.

Fig. 146.



Für die mittlere Kugelkappe *z* entſprechen beide begrenzenden Schnittlinien denſelben Kreisbogen *h i*. Erweitert man *u s* und nimmt man *s l* = *s k*, ſo ſind *l* und *k* die Mittelpunkte der Kreisbogen, welche der Kugelfläche dieſer Kappe angehören. Der Kugelmittelpunkt *n* iſt der Schnittpunkt des in *l* auf *s l* errichteten Lotes mit dem vorhin gezogenen Lote *k m*. Der Kugelhalbmeſſer iſt *n h*, und der gröſste Kugelkreis wird *N*, wonach wiederum der Stirnbogen der Kappe *z* zu beſtimmen iſt. Die dritte Kugelkappe liegt zur erſten über *e h s* ſymmetriſch, ſo daſs für dieſelben neue Beſtimmungen nicht zu treffen ſind.

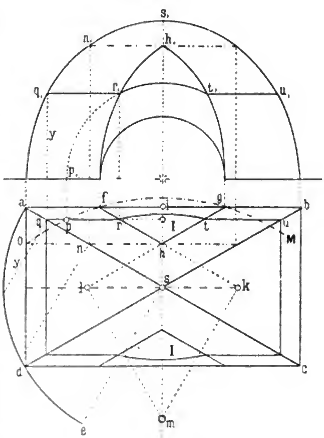
Ein lotrechter Schnitt, in der Richtung *x y* geführt, trifft die Gewölbfläche in einer Schnittlinie, deren Aufriſs als *t, o, q, u, v, w,* dargeſtellt iſt. Die geraden und wagrechten Linien *t, o,* und *v, w,* gehören Erzeugenden der Wangenteile des Kloſtergewölbes an. Ihr lotrechter Abſtand von der Kämpferebene *E F* iſt *o p* = *q r*, während offenbar die Stücke *o, q,* und *v, u,* Kreisbogen der Kugelfläche mit dem gröſsten Kreiſe *M* ſind. Das Lot *m o* auf *x y* dient ſofort zur Beſtimmung des Halbmeſſers *o x* dieſer Kreisbogen. Ebenſo iſt das Stück *q, u,* ein Kreisbogen der Kugelfläche um *n*. Das Lot *n z* auf *x y* giebt im Abſtande ſeines Fuſspunktes *z* vom Schnittpunkte *y* der Ebene *x y* mit dem nunmehr geltenden gröſsten Kreiſe *N*, alſo in der Strecke *z y* den Halbmeſſer für den Kreisbogen *q, u,*. Zu bemerken iſt noch, daſs auch die Punkte *o, q, u, v,* dieſelbe Höhenlage *o p* = *q r* über der Kämpferebene haben, wie die Punkte *t,* und *w,*.

Die Gratlinie über *a s*, bezw. *b s* iſt entweder unter Benutzung des Kreisbogens *e f* oder auch, wodurch dasſelbe Ergebnis erzielt wird, unter Verwendung des Kreisbogens *h i* durch ſog. Vergatterung unter Annahme von Erzeugenden, wie z. B. *t w,* leicht zu beſtimmen. Auſserdem ſind dann im Zuſammenhange mit dieſen Gratlinien noch die Leitlinien der übrigen Kappen des Kloſtergewölbes auf bekanntem Wege feſtzulegen.

Läſst man die Schnittlinien der Kugelkappen im Kloſtergewölbe nicht bis zum Scheitel desſelben reichen, ſo wird in den allgemeinen grundlegenden Geſtaltungen, wie dieſelben beſprochen ſind, eine Aenderung nicht herbeigeführt.

In Fig. 147 iſt eine ſolche Anlage dargeſtellt. Im Kloſtergewölbe über *a b c d* ſollen *I* kleinere Kugelkappen ſein, deren höchſter Anfallspunkt *h,* in der Laibungsfläche tiefer liegt, als der Scheitelpunkt *s,* des Gewölbes. In ſolchen Fällen nimmt man die wagrechten Projektionen *f h* und *g h* der Schnittlinien dieſer Kappen zweckmäſsig parallel zu den Grundriſsprojektionen der Gratlinien *s a* und *s b* an. Da jene Schnittlinien für die Kugelkappen in ihrer wirklichen Geſtalt Kreisbogen ſind, ſo ſetzt man auch für die Gratbogen ohne weiteres beſtimmte Kreisbogen feſt, wonach die Schnittlinien der Kugelkappen geradezu Teile dieſer Gratbogen werden.

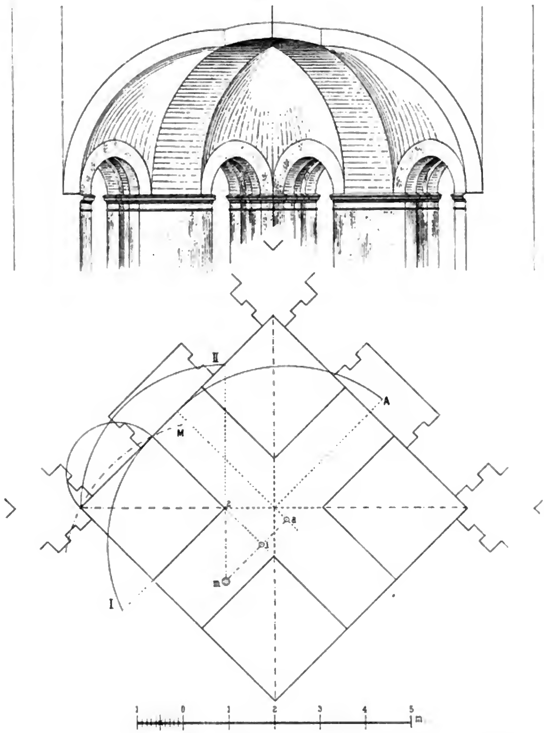
Fig. 147.



In der Zeichnung iſt für die Gratlinien über *a s*, bezw. *b s* ein Viertelkreis *a e* gewählt. Wird die ſenkrechte Ebene der Gratlinie mit ſich parallel bleibend nach *f k* verſchoben, ſo ſoll der Schnittlinie der Kugelkappe über *f h*, bezw. *g h* der Teil *a d* mit der Höhe *n d* der Gratlinie *a e* zugewieſen werden. Da *k* und *l* die Mittelpunkte dieſer Kreisbogen ſind, welche ſich über *h* ſchneiden, ſo liefern die in *k* auf *f k* und in *l* auf *g l* errichteten Lote in ihrem Schnittpunkte *m* den Mittelpunkt ihrer Kugelfläche, und ſomit erhält man in dem um *m* mit dem Halbmeſſer *m f*, bezw. *m g* beſchriebenen Kreis *M* den gröſsten Kreis dieſer Kugelfläche, welcher die Kugelkappen *I* zukommen. Die Scheitellinie dieſer Kugelkappen iſt der Kreisbogen *f o*, alſo gleichfalls ein Teil eines gröſsten Kreiſes wie *M*, den die ſenkrechte Ebene nach *m i* genommen auf der Kugelfläche erzeugt.

Die fonft noch nötigen Ausmittelungen für die Geftaltung der ganzen Gewölbfläche ergeben fich nach dem bereits Vorgetragenen. Bemerkt fei noch, dafs die in *q u* aufgeftellte fenkrechte Ebene eine Schnittlinie mit der Aufrifsprojektion *q, r, t u,* giebt, während eine wagrechte Ebene, durch *q, u,* gelegt, die in der Grundrifsprojektion gezeichnete Schnittlinie *v q r t u* liefert. Das Feftlegen derartiger Schnittlinien ift ohne weiteres aus der Zeichnung erfichtlich.

Fig. 148.



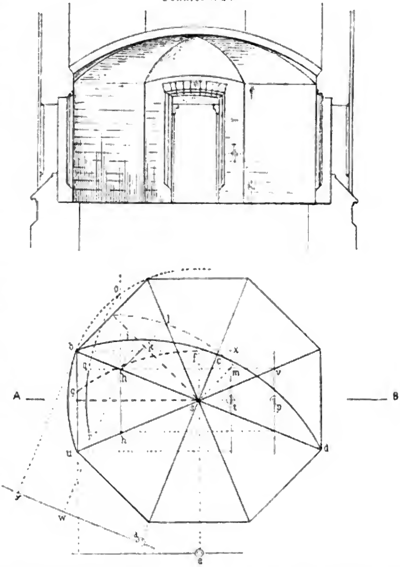
Sollen, wie in Fig. 148, zwei benachbarte Kugelkappen an jeder Ecke eines mit einem Kloftergewölbe überdeckten Raumes angebracht werden, wonach alsdann einzelne fich kreuzende verhältnismäfsig fchmale Teile des eigentlichen Kloftergewölbes übrig bleiben, fo ift die Geftaltung der Gewölbfläche nach den angegebenen Regeln und nach den aus der Zeichnung leicht zu erkennenden Ausmittelungen

zu beſchaffen. Aehnliche Gewölbanordnungen finden ſich bei Bauwerken, welche im Zopf-, bezw. im ſog. Jeſuitenſtil errichtet ſind.

89. Flache Kloſtergewölbe. Iſt die Ausgangsleitlinie der Wangen eines Kloſtergewölbes eine geſetzmäſsig krumme Linie von nur geringer Pfeilhöhe, ſo entſteht ein ſog. flaches oder flachbogiges Kloſtergewölbe. Der Scheitelpunkt desſelben liegt in mäſsiger Entfernung über der wagrechten Kämpferebene. In der Regel wird für die erwähnte Ausgangsleitlinie ein flacher Kreisbogen gewählt, oder es wird auch eine Ausgangsgratlinie als flacher Kreisbogen angenommen und danach die Leitlinie jeder Wange als flaches Ellipſenſtück entwickelt. Die Grundſätze, welche für die Geſtaltung des gewöhnlichen Kloſtergewölbes maſsgebend ſind, bleiben auch für das flache Kloſtergewölbe beſtehen. Das Einfügen von Kugelkappen in flache Kloſtergewölbe iſt ebenfalls zuläſſig und für eine weitere Gliederung der Gewölbfläche an ſich oft von Vorteil.

Fig. 149.

Schnitt *AB*.



In Fig. 149 iſt ein flaches Kloſtergewölbe in Verbindung mit Kugelkappen über einem regelmäſsigen Achteck gegeben.

Die über *bs*, bezw. *ds* gewählte Ausgangsgratlinie iſt der um *a* mit dem Halbmeſſer *ab* = *ad* beſchriebene Kreisbogen mit der Pfeilhöhe *sc*. Die Leitlinie der Wange *k* des Kloſtergewölbes iſt ein Ellipſenſtück, für welches z. B. ein Punkt *l* in bekannter Weiſe durch das Lot *kl* auf *sk* gleich dem Lote *hi* auf *sb* für eine Erzeugende *hl* beſtimmt iſt.

Das Feſtlegen der Kugelfläche für eine zwiſchen zwei Wandungen des Kloſtergewölbes eingefügte Kugelkappe, z. B. für *bsu*, kann in der folgenden Weiſe bewirkt werden.

Der Mittelpunkt *a* der Ausgangsgratlinie *bc* liegt lotrecht unter dem Scheitelpunkte des Gewölbes in einem Abſtande *sa* von der wagrechten Kämpferebene entfernt. Dieſe Gratlinie gehört einem gröſsten Kugelkreiſe an, deſſen Halbmeſſer *ac* iſt, ſo daſs hierdurch die Kugelfläche beſtimmt wird.

Der um *s* mit dem Halbmeſſer *sb* beſchriebene Kreis *bo*, welcher durch die Ecken des Raumes gehen würde, iſt ein Parallelkreis der Kugelfläche. Derſelbe liegt in der wagrechten Kämpferebene.

Um den Stirnbogen über *bu* für die Kugelkappe auszutragen, iſt *bx* lotrecht zu *bu* gezogen und *bx* gleich dem vorhin erwähnten Abſtande *sa* genommen. Dieſer Abſtand *sa* iſt, wie aus der Zeichnung zu erſehen, auch gleich dem Lote *by* auf der zu *sb* parallelen wagrechten Spur *ay* der Mittelpunktsebene der Kugel. Zieht man *xm* parallel *bu*, ſo giebt das von dem Halbierungspunkte der Seite *bu* auf

die erweiterte Gerade $x m$ gefällte und durch s ziehende Lot im Punkte t den Mittelpunkt für den im Grundrifs niedergelegten Stirnbogen $b u$.

Nimmt man $h h$ parallel zu $b u$, fo fchneidet die in $h h$ ftehende lotrechte Ebene die Kugelfläche nach einem Kreisbogen $q r$ mit dem Mittelpunkte p und dem Halbmeffer $w i$. Der Punkt p liegt im Schnittpunkte einer zur Linie $h h$ parallelen Geraden, für welche $h v = h w = s a$ ift, mit dem erweiterten Lote $s t$ auf $b u$. Würde man die Gerade $h h$ bis zum Schnittpunkte o mit dem Parallelkreife $b o$ der Kugelfläche verlängern, fo geht auch der entfprechend fortgeführte, um p befchriebene Kreis $r q$ durch diefen Punkt o.

Die Scheitellinie der Kugelkappe $b s u$ ift der um e mit dem Halbmeffer $e f = a c$ befchriebene Kreisbogen $g f$. Der Punkt e liegt offenbar auf dem Lote $s e$ zu $s p$ im Abftande $s e = s a$.

Läfst man auf eine Kloftergewölbwange ftets der Reihe nach eine Kugelkappe folgen, fo ergiebt fich eine Gewölbanordnung, welche im Schnitte $A B$ noch näher verdeutlicht ift.

Wollte man auch bei einem flachbogigen Kloftergewölbe mit Kugelkappen die letzteren nicht bis zum Scheitel des Gewölbes reichen laffen, fo ift in der Grundlage für folche Anordnung nach dem in Art. 88 (S. 173) Gefagten zu verfahren. Hierbei ift nur, wie Fig. 149 foeben gezeigt, immer der Abftand des Kugelmittelpunktes von der wagrechten Kämpferebene gehörig in Rückficht zu nehmen.

Das Beftreben, in den Umfangsmauern eines mit einem Kloftergewölbe abgefchloffenen Raumes, über die Kämpferlinie desfelben hinausgehend, Thür- oder Lichtöffnungen in thunlichft ungehinderter Weife anbringen zu können, ohne von eigentlichen Stichkappen oder von befonderen eingefügten Kugelkappen Gebrauch zu machen, hat zur Geftaltung von Kloftergewölben geführt, deren cylindrifche Laibungsflächen von den lotrechten Ebenen der Umfangsfeiten des Raumes nicht mehr in geraden Kämpferlinien, fondern in auffteigenden Bogenlinien gefchnitten werden. Von den Kämpferlinien bleibt in der wagrechten Kämpferebene an den Ecken des Raumes nur ein Punkt übrig; die benutzten Gewölbflächen gehören gleichfam in ihrer Erweiterung einem Kloftergewölbe an, welches für einen befonderen, eingebildeten Raum, deffen Grundrifs von der Form des gegebenen Raumes abhängig gemacht wird, in feiner Geftaltung feftgelegt wurde. Aus diefem zu Hilfe genommenen Kloftergewölbe bildet man das zur Anwendung kommende Gewölbe durch Abftumpfung der Laibungsflächen des erfteren, indem man das Urfprungsgewölbe von den Umfangsfeiten des gegebenen Raumes fchneiden läfst und die fo entftandenen Schnittlinien als Stirnlinien für das eigentliche Gewölbe verwendet.

90. Klofter-gewölbe mit Abftumpfungen.

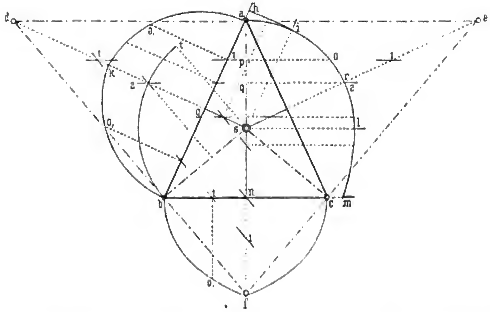
Unter Beibehaltung diefer Grundentwickelung laffen fich die »Kloftergewölbe mit Abftumpfungen« oder die »offenen Kloftergewölbe« in mannigfachfter, in architektonifcher Beziehung auch günftiger und anfprechender Weife ausbilden. Ueber einem dreieckigen Raume ift z. B. eine zu diefer Gruppe von Gewölben gehörige Deckenkonftruktion des Sanktuariums der *Nôtre-Dame*-Kirche in Paris ausgeführt [19]).

Zunächft möge die Erzeugung eines Kloftergewölbes mit Abftumpfungen auch hier unter Benutzung eines dreieckigen Raumes gezeigt werden.

Das Dreieck $a b c$ (Fig. 150) fei die gegebene Grundrifsform. Vom Schwerpunkt s desfelben gehen nach den Ecken a, b, c des Dreieckes die wagrechten Projektionen der Leitlinien des eigentlichen zu erzeugenden Kloftergewölbes. Zieht man von s die gehörig erweiterten Lote $s d$, $s e$, $s f$, fo läfst fich dem Dreiecke $a b c$ das Dreieck $d e f$ umfchreiben. Betrachtet man diefes Dreieck $d e f$ als Grundrifs eines Kloftergewölbes, aus welchem durch Abftumpfung nach den fchneidenden lotrechten Ebenen $a b$, $b c$, $c a$

[19]) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 9. Paris 1868. S. 512.

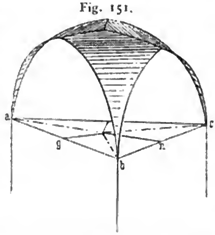
Fig. 150.



das wirkliche Kloftergewölbe über *a b c* entftehen foll, fo find *s d*, *s e*, *s f* die wagrechten Projektionen der Gratlinien diefes Hilfgewölbes und *d s e*, *e s f*, *f s d* die Grundrifsprojektionen der cylindrifchen Wangen desfelben. Setzt man für eine Wange, z. B. für *f s d*, ihre Leitlinie über *s b* als eine gefetzmäfsig gebildete krumme Linie, hier als einen Viertelkreis *b t* feft, fo können, nachdem die Ausmittelung der Gratlinien und übrigen Leitlinien ganz entfprechend derjenigen bei einem gewöhnlichen Kloftergewölbe für einen Raum *d e f* vorgenommen ift, die für das wirkliche Kloftergewölbe über *a b c* erforderlichen Mafsnahmen getroffen werden. Mit Hilfe von Erzeugenden *1 1*, *2 2* ganz im Sinne von dem in Art. 86 (S. 165) Gefagten geführt, ergeben fich unter fteter Benutzung der Urfprungsleitlinie *b t* in leichter und aus der Zeichnung zu erfehender Weife die Stirnlinien *a k b*, *b f c* u. f. f. als Ellipfenftücke, welche fpitzbogenartig zufammentreffen; ebenfo z. B. die Leitlinie *a o l* über *a s* der Kappe *a s c* und endlich die Scheitellinien der einzelnen Kappen wie *h i* über *g s*, *l m* über *s n* u. f. f., welche offenbar Teile der Gratlinien des Kloftergewölbes über dem Ergänzungsraume *d e f* find.

Wie das Bild in Fig. 151 ergiebt, find durch ein derart gefchaffenes, abgeftumpftes Kloftergewölbe reichlich grofse Oeffnungen in den Umfangsmauern des Raumes möglich. Das Gewölbe felbft fteigt von den Ecken desfelben aus in leichter Form auf. Seine Laibungsflächen find cylindrifche Flächen, welche fich in den Scheitellinien der Kappen fchneiden.

Fig. 151.



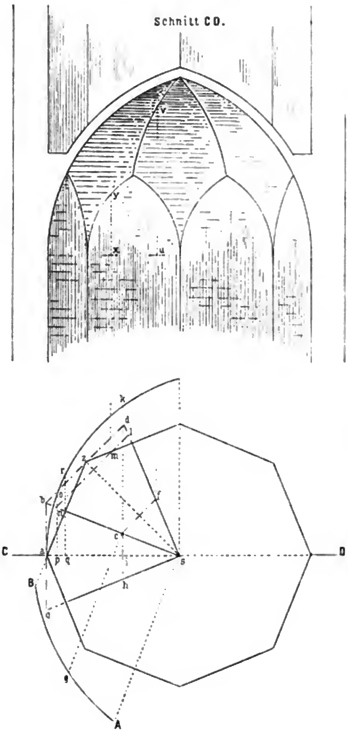
Ift die Grundrifsfigur eines abgeftumpften oder offenen Kloftergewölbes ein regelmäfsiges Vieleck, fo erfolgt das Feftlegen der Gewölbflächen im allgemeinen nach denfelben Grundfätzen, wie folche für das Dreieck angegeben find.

In Fig. 152 ift ein regelmäfsiges Achteck als Grundrifsprojektion eines abgeftumpften Haubengewölbes angenommen. Wird diefem Grundrifs ein neues Achteck umfchrieben, fo ift z. B. das Dreieck *b s d* die Grundrifsprojektion einer Gewölbwange des ergänzenden Kloftergewölbes, welches durch die in *a z* geführte lotrechte Ebene des gegebenen Grundriffes abgeftumpft wird.

Die über *s z* oder, da *s z* gleich *s a* ift, auch über *s a* ftehende Leitlinie einer derartigen mafsgebenden Wange fei der beliebig gewählte, in *a* beginnende Kreisbogen *k*.

Nach demfelben laffen fich ohne weiteres die Gratlinien, z. B. über *s n* als *A F*, und ferner die hier elliptifchen Spitzbogen entfprechenden Formen der Stirnbogen in bekannter Weife ermitteln, foweit

Fig. 152.



dieſelben für das wirkliche Kloſter-, bezw. Haubengewölbe notwendig werden. Wie aus der Zeichnung zu entnehmen, iſt $u v$ im Schnitte CD gleich $i k = e g$, ferner $x y = p o$, während der Scheitel der Stirnbogen in einer Höhe gleich $q r$ über der wagrechten Kämpferebene liegen muſs. Die Laibungen des Haubengewölbes gehören hier durchweg cylindriſchen Flächen an, deren Leitlinien durch einen und denſelben Grundbogen k beſtimmt ſind.

Liegen mehrere gleiche Raumabteilungen nebeneinander, welche durch Säulen- oder Pfeilerſtellungen mit unter ſich verbundenen Gurtbogen einem Geſamtraume angehören, ſo ſind für jede Abteilung gleichfalls offene Kloſtergewölbe ohne Schwierigkeit herzurichten. Solche in Gewölbjochen nebeneinander liegende, offene oder abgeſtumpfte Kloſtergewölbe zeigen in ihrer Geſamtheit groſse Aehnlichkeit mit den ſpäter noch zu erwähnenden Trichtergewölben.

Verbindet man bei einem Kloſtergewölbe abgeſtumpfte Wangen mit Wölbflächen nicht abgeſtumpfter Wangen, ſo entſpringt wiederum eine beſondere Geſtaltung für eine maſſive Decke. Fig. 153 zeigt die Anordnung derſelben als umgeſtaltetes, flachbogiges Kloſtergewölbe für einen rechteckigen Raum.

Zieht man von der wagrechten Projektion s des Scheitels des Gewölbes in geſetzmäſsiger Folge und Anordnung gerade Linien wie $s e$, $s f$ u. ſ. w., ſo können dieſelben als die Grundriſsprojektionen von Gratlinien des zu ſchaffenden Gewölbes angenommen werden. Behandelt man nun die Stücke, welche dem Teile $s e a f$ entſprechen, als abgeſtumpfte Kloſtergewölbe, während die antretenden Teile wie t, i, v u. ſ. f. als gewöhnliche Kloſtergewölbwangen mit wagrechter Kämpferlinie beſtehen bleiben, ſo erhält man das bezeichnete Gewölbe.

Nimmt man $e f$ als wagrechte Projektion einer Erzeugenden der Wange über $a f s e$ an, zieht darauf $c d$ parallel zu $e f$, damit das Dreieck $c s d$ entſteht, ſo gilt dieſes als Grundriſs für das ergänzende Kloſtergewölbe jener Wange. Die Leitlinie iſt der über $a s$ liegende, um m beſchriebene flache Kreisbogen $a b$.

Nach dieſem Grundbogen ergiebt ſich unter Anwendung der wagrechten Projektionen zugehöriger Erzeugenden wie $e f$ und $f p$; i, n und k; q und t ſofort die Leitlinie der Wange t als elliptiſcher Bogen $p v$.

Für denſelben iſt $o p = g h$, $t u = q r$ und $s v = s b$. Auf gleichem Wege ſind, wie Fig. 153 kenntlich macht auch die Gratlinien über $f s$ u. ſ. f., bezw. die Schnittlinien über $a f$, bezw. $a e$ u. ſ. f. und endlich auch Punkte wie i, der Leitlinie der Wange i zu finden. Die Kämpferlinien der gewöhn-

lichen Kloftergewölbwangen *i*, *t* u. f. f. liegen fämtlich in einer wagrechten Ebene, während die Kämpferpunkte der abgeftumpften Wangen um eine Höhe *g h* unter derfelben auftreten.

Wünfcht man abgeftumpfte Kloftergewölbe ftatt mit gewöhnlichen Wangenteilen mit Stichkappen zu verbinden, fo kann eine folche Anordnung nach An-

Fig. 153.

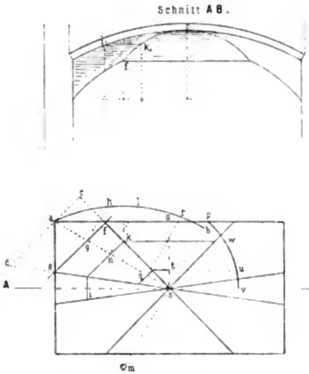
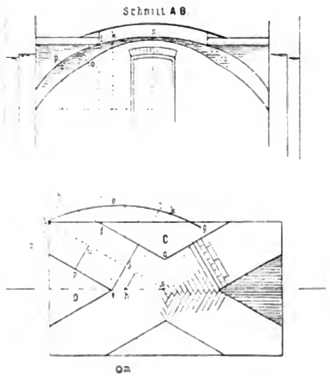


Fig. 154.

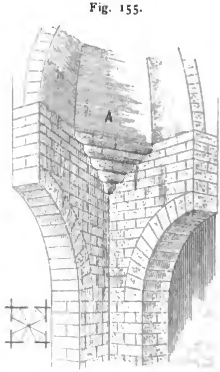


leitung von Fig. 154 wie bei *C*, *D*. u f. f. erfolgen. Beachtet man dabei noch das in Art. 13 (S. 24) für das Tonnengewölbe mit Stichkappen Gefagte, fo geht beim Verfolgen der Zeichnung alles Nötige für die Darftellung derartiger Gewölbanlagen hervor.

91. Eck-überführungen etc.

Sind Kloftergewölbe, wie fchon früher bemerkt, im allgemeinen am beften über regelmäfsig geftalteten Grundriffen herzuftellen, fo laffen fich unter Beobachtung der für die Geftaltung von folchen Gewölben überhaupt gegebenen Entwickelungen auch bei diefen oder jenen gewählten Umformungen felbft Räume mit unregelmäfsig angelegtem Grundrifs ohne erhebliche Hinderniffe mit derartigen Decken verfehen. Bei durchdachtem Zufammenfugen der einzelnen Wangen oder Kappen derfelben kann eine folche Decke recht günftig wirken.

Fig. 155.



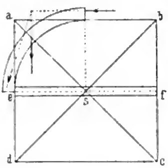
Ift die Grundrifsform ein regelmäfsiges Vieleck von *n* Seiten und foll für diefelbe ein Kloftergewölbe mit 2 *n* Wangen angelegt werden, fo ift für die Kampferlinien diefes Gewölbes dem gegebenen *n*-Eck ein 2 *n*-Eck einzufchreiben. In folchem Falle haben *n* Seiten des eingefchriebenen Vieleckes ohne weiteres keine unmittelbare Unter-

ſtutzung durch lotrecht aufgeführte Umfangs- bezw. Widerlagsmauern. Dieſelben ſind alsdann, wie Fig. 155 bei einer Wange *A* zeigt, durch Tragſteine oder Ueberkragungen zu ſchaffen. Statt dieſer Ueberkragungen können auch in beſſerer und oft in wirkungsvollerer Weiſe beſondere kleine Gewölbe als ſog. Eck- oder Niſchengewölbe, wovon bei der Ausführung der Kloſtergewölbe (unter 3) noch weiter geſprochen werden ſoll, in Anwendung kommen.

2) Stärke der Kloſtergewölbe und ihrer Widerlager.

Beim einfachen Kloſtergewölbe ſind die Gewölbwangen Teile eines Tonnen- 92. Gewölbſtärke.
gewölbes. Zerlegt man jede Wange in einzelne Streifen, deren Begrenzungsebenen lotrecht und parallel zur Ebene der Scheitellinie der cylindriſchen Wölbkappen geführt ſind, ſo könnte jeder Streifen für ſich als ein Teil eines Tonnengewölbes betrachtet und dementſprechend ſtatiſch unterſucht werden. Der Elementarſtreifen *se*, bezw. *sf* (Fig. 156), deſſen lotrechte Kräfteebene die Scheitellinien der zugehörigen Gewölbwangen enthält, iſt offenbar ein Hauptſtreifen, in welchem der gröſste Gewölbſchub herrſcht, während in allen Nachbarſtreifen, wenn von einer unzweckmäſsigen oder übertriebenen Ueberlaſtung abgeſehen wird, ein kleinerer Gewölbſchub auftreten muſs.

Fig. 156.

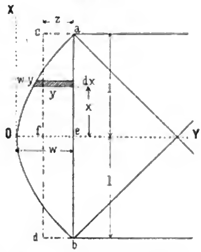


Beſtimmt man die Stabilität und die Stärke des Hauptſtreifens unter der üblichen Annahme, daſs die Breite desſelben gleich einer Längeneinheit ſei, ganz nach den für die Beſtimmung der Stärke der Tonnengewölbe in Kap. 11 (unter b) gegebenen Entwickelungen, ſo giebt man aus praktiſchen Gründen den ſämtlichen Wölbſtreifen der betreffenden Wange die gefundene Stärke. Wurden bei einem Kloſtergewölbe über rechteckigen, vieleckigen oder auch über unregelmäſsigen Räumen ſich ſolche Hauptſtreifen von verſchiedener Spannweite ergeben, ſo wird im allgemeinen für das ganze Gewölbe diejenige Stärke beibehalten, welche der gröſste Hauptſtreifen beanſprucht. Die auf Kuf gemauert gedachten Gewölbwangen legen ſich über ihren Gratlinien gegeneinander. Ihr Gewölbſchub flieſst im Gewölbkörper bis zum Widerlager fort, ohne daſs die Ebene der Grate dadurch mit Gewichten belaſtet wird. Tritt an die Stelle dieſer Ebene ein ſelbſtändiger Gratbogenkörper, was zuweilen der Fall, aber nicht durchaus nötig iſt, ſo bildet derſelbe für ſich ein beſonderes Tonnengewölbe, nur beeinfluſst durch ſein Eigengewicht, bezw. durch ſeine etwa vorhandene Ueberlaſt. Hiernach würde alſo die Stärke ſolcher Gratbogen ebenſo zu berechnen ſein, wie bei einem derart angeordneten, freiſtehenden Tonnengewölbe. Werden die Gewölbwangen auf Schwalbenſchwanzverband ausgeführt, ſo entſprechen die Stabilitätsunterſuchungen der dann entſtehenden Elementarſtreifen dem in Art. 62 (S. 137) Vorgetragenen. Auch bei dieſem Verbande, welcher wohl bei flachen Kloſtergewölben, ſeltener oder gar nicht bei Gewölben mit entſprechend groſser Pfeilhöhe in Anwendung kommt, können die Schichten entweder ſtumpf in der Ebene der Grate zuſammenſtoſsen oder beſſer über der Gratlinie auf Stich gegeneinander treten.

Da die Gewölbſtreifen, ſelbſt wenn dieſelben, wie es der Fall iſt, ſämtlich 93. Widerlagsſtärke.
eine gleiche Stärke erhalten, vermöge ihrer verſchieden groſsen Spannweite, welche von Null bis zur Weite eines Hauptſtreifens in einer Gewölbkappe wächſt, auf ihr

Widerlager einen verfchieden grofsen Druck ausüben, fo folgt, dafs die fonft ganz im Sinne des in Art. 24 (S. 57) geführte Beftimmung der Widerlagsftärke für jeden Elementarftreifen ein anderes Mafs ergeben wird. Diefes Mafs würde gleichfalls von Null bis zur gröfsten Widerlagsftärke, welche der Hauptftreifen der zugehörigen Kappe nötig macht, zunehmen. Trägt man die den einzelnen Streifen zukommenden Widerlagsftärken als Ordinaten der äufseren Begrenzungslinie des betreffenden Widerlagers auf, fo erhält man eine krumme Linie und danach eine beftimmte Grundfläche des Widerlagskörpers. Für die praktifche Ausführung eignet fich jedoch ein folches Widerlager nicht. Statt desfelben ift beffer ein Widerlagskörper mit rechteckiger Grundfläche anzuordnen. Derfelbe mufs aber das gleiche Mafs der Stabilität befitzen, wie das theoretifch ermittelte, nach aufsen krummlinig begrenzte Widerlager.

Fig. 157.



Die krumme Linie aOb in Fig. 157, welche als äufsere Begrenzung des Widerlagers einer Gewölbkappe gefunden ift, kann mit hinreichender Genauigkeit als eine Parabel mit dem Scheitel in O angefehen werden. Der Hauptftreifen möge die Widerlagsftärke w erfordern, fo dafs w die Pfeilhöhe jener Parabel ift. Diefe Linie w fcheidet die Parabelfläche in zwei gleiche, fymmetrifch liegende Teile. Das Rechteck $abcd$, bezw. die Hälfte desfelben $aefc$ foll diefelbe Stabilität befitzen, wie die Parabelfläche abO, bezw. wie die Hälfte aeO derfelben.

Die noch unbekannte Breite diefer Rechtecksfläche fei z. Unter Benutzung der Bezeichnungen in Fig. 157 erhält man zunächft das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}$ der Fläche $aefc$ in Bezug auf die Drehkante fc als

$$\mathfrak{M} = lz\frac{z}{2} = \frac{l}{2}z^2. \qquad 125.$$

Für einen Elementarftreifen von der Breite y und der Länge dx im Abftande x von der Linie w der Parabelfläche aeO ift das Stabilitätsmoment $d\mathfrak{M}_1$ in Bezug auf die Aufsenkante diefes Streifens

$$d\mathfrak{M}_1 = y \cdot dx\frac{y}{2} = \frac{y^2}{2}dx,$$

woraus durch Integration das Stabilitätsmoment $\mathfrak{M}_1$ der Parabelfläche aeO folgt als

$$\mathfrak{M}_1 = \frac{1}{2}\int_{x=0}^{x=l} y^2 \cdot dx. \qquad 126.$$

Nun ift aber für die Parabel Oa, deren Achfe mit der Geraden w zufammenfällt,

$$\frac{w-y}{w} = \frac{x^2}{l^2}, \text{ d. h. } y = \frac{w}{l^2}(l^2 - x^2).$$

Setzt man diefen Wert in Gleichung 126, fo ergiebt fich

$$\mathfrak{M}_1 = \frac{w^2}{2l^4}\int_{x=0}^{x=l}(l^2 - x^2)^2 dx. \qquad 127.$$

Da nun $\mathfrak{M} = \mathfrak{M}_1$ fein foll, fo wird den Gleichungen 125 u. 127 zufolge

$$z^2 = \frac{w^2}{l^5}\int_{x=0}^{x=l}(l^2 - x^2)^2 dx,$$

woraus nach Ausführung der Integration

$$z^2 = \frac{8}{15} w^2$$

oder fchliefslich

$$z = w \sqrt{\frac{8}{15}} = 0{,}7303\, w \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 128.$$

zu beftimmen ift.

Hiernach erfcheint die Breite z nahezu gleich $\frac{3}{4} w$, d. h. die Stärke des Widerlagers eines Kloftergewölbes beträgt etwa ein Viertel der Stärke des Widerlagers eines Tonnengewölbes von gleicher Leitlinie, Gewölbftärke und Belaftung, wie dasfelbe durch den Hauptftreifen in der Gewölbwange gegeben ift. Dasfelbe Ergebnis ift bereits von *Rondelet* durch Verfuche an Modellen feftgeftellt.

Treten bei Kloftergewölben Vereinigungen cylindrifcher Wangen mit Kugelkappen auf, fo find letztere einer befonderen Stabilitätsunterfuchung zu unterziehen. Wie der Weg zur Prüfung derartiger Kappen einzufchlagen ift, wird fpäter bei der Befprechung der Stärke der Kuppelgewölbe erörtert werden.

94. Empirifche Regeln für die Gewölbftärke.

Da die Wangen eines Kloftergewölbes einem Tonnengewölbe angehören, fo laffen fich die in Art. 21 (S. 53) für das Tonnengewölbe angegebenen empirifchen Regeln auch für das Kloftergewölbe im allgemeinen verwenden. Als mafsgebendes Gewölbftück ift der Hauptftreifen, deffen lotrechte Ebene die Scheitellinie der am weiteften gefpannten Gewölbwangen enthält, in Betracht zu ziehen und die hierfür empirifch ermittelte Gewölbftärke in der Regel für die Stärke fämtlicher Wangen entweder ohne weiteres oder unter befonderen Verhältniffen nur als Anhalt für eine ftrengere ftatifche Unterfuchung zu Grunde zu legen.

95. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

Ift für den erwähnten Hauptftreifen, bezw. für die Hauptftreifen jeder einzelnen Wange nach den in Art. 26 (S. 68) für Tonnengewölbe mitgeteilten empirifchen Regeln die Widerlagsftärke berechnet, fo werden für die mit rechteckiger Grundfläche angeordnete Widerlagsmauer der zugeordneten Gewölbwange drei Viertel diefer Stärke angenommen. Bei quadratifchen Räumen mit einer Seitenabmeffung bis zu 6 m kann die Stärke der Widerlagsmauern bei forgfältiger Ausführung bis auf zwei Drittel der Widerlagsftärke eines dem Hauptftreifen gleichen Tonnengewölbes herabgefetzt werden.

Kloftergewölbe mit grofser Pfeilhöhe, befonders die Haubengewölbe, erhalten, abgefehen von etwaigen Ausmauerungen der Zwickel über befonders angelegten Gratbogen, in den meiften Fällen keine befondere Ueberlaft, weder durch darauf ruhende Balkenlagen, noch durch hierauf angebrachte Fufsböden. Flache Kloftergewölbe dagegen können ähnliche Belaftungen wie Kappengewölbe erfahren. Alsdann find nach den in Art. 58 (S. 124) gemachten Angaben die Abmeffungen der Widerlagsftärken bei diefen Kloftergewölben am beften ohne Herabminderung gleich folchen bei Kappengewölben zu wählen.

3) Ausführung der Kloftergewölbe.

96. Allgemeines.

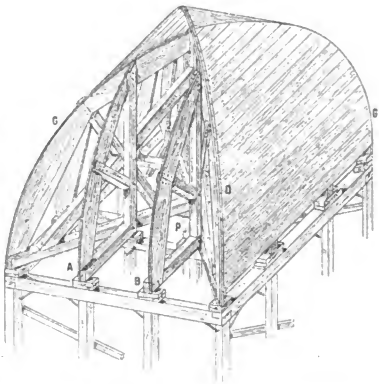
Die Geftaltung der Kloftergewölbe weift fchon darauf hin, dafs diefelben, als vorzugsweife in ihren Wangen von Tonnengewölben herrührend, auch in ihrer Ausführung fich nach derjenigen der Tonnengewölbe zu richten haben. Sämtliche Hauptregeln, welche in diefer Beziehung in Kap. 11 (unter c) für das Tonnengewölbe gegeben find, behalten auch für das Kloftergewölbe ihre Geltung. Aus-

nahmen hiervon treten nur bei den in die Klostergewölbkörper eingefügten Kugelkappen ein. Solche Kappen unterliegen im allgemeinen der Ausführungsweise von Kuppelgewölben, worüber später entsprechende Mitteilungen gemacht werden sollen.

Die Hauptbaustoffe für Klostergewölbe sind wiederum Backstein, Quader oder dünnschichtige, lagerhafte Bruchsteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein, und das hierüber beim Tonnengewölbe in Art. 31 (S. 78) Gesagte ist bei Klostergewölben gleichfalls zu beachten.

97 Lehrgerüste. Das gewöhnliche Klostergewölbe wird auf einer Unterschalung, welche auf dem Lehrgerüste ruht, ausgeführt. Die Lehrbogen dieses Gerüstes sind jedoch in Rücksicht auf die in den Graten zusammentreffenden Gewölbwangen in anderer Weise aufzustellen, als beim geraden Tonnengewölbe. Nach Fig. 158 sind die sog. Gratbogen oder Diagonalbogen *G*, bezw. *D* von den sog. Schift- oder Wangenbogen *A*, *B* zu unterscheiden. Die Gratbogen treten unter dem Scheitel des Gewölbes kreuzförmig zusammen. Liegen zwei Gratlinien des Gewölbes in einer und derselben lotrechten Ebene, so folgt ein ganzer, für sich bestehender Lehrbogen *D* dieser Ebene, während die übrigen Gratbogen *G*, ihrer Durchkreuzung mit dem Bogen *D* halber, aus zwei Hälften bestehen. Der Kreuzungspunkt dieser Lehrbogen ist durch einen kräftigen Pfosten oder Mäkler *P* zu unterstützen; auch ist für eine Sicherung der Mittelpfosten der eigentlichen Lehrbogen gegen Ausweichen oder Drehen durch Eisenklammern, sog. Stichklammern, zu sorgen, welche nach der Ausführung des Gewölbes wieder leicht beseitigt werden können.

Fig. 158.



Die Schiftbogen *A*, bezw. *B* legen sich vom Gewölbkämpfer aus gegen die Gratlehrbogen; ihre obere Begrenzungslinie ist nach der Ursprungsleitlinie, welche der Gestaltung des Klostergewölbes zu Grunde gelegt war, leicht fest zu legen. Für jede Wange ist die Zahl dieser Schiftbogen so zu bestimmen, dafs die freie Länge der darüber angebrachten Schalbretter $1{,}00$ bis $1{,}50$ m beträgt. Die Auflagerung der sämtlichen Lehrbogen an den Endpunkten ihrer Sohle oder Schwelle erfolgt in gleicher Weise, wie bei den Ausrüstungsvorrichtungen der Tonnengewölbe (siehe Art. 36, S. 84). In der Zeichnung sind Doppelkeile als Lagerungen angenommen.

Die Schalung besteht meistens aus einem Bretterbelag von 3 bis 5 cm Stärke; die einzelnen Bretter treten über den Gratbogen, nach der Gratlinie gefugt, stumpf zusammen. Ueber den Grat- und Schiftbogen findet das Heften der Bretter mit

Drahtftiften ftatt, um auch hierdurch die unverrückbare Stellung der betreffenden Bogen in gewiffem Grade mit zu fichern.

Für flache Kloftergewölbe benutzt man zu den Gratbogen und Schiftbogen einfache Wölbfcheiben, wie folche bei Kappengewölben gebräuchlich find.

Kloftergewölbe mit Kugelkappen erhalten nur eine Schalung der Lehrgerüfte, foweit die eigentlichen Gewölbwangen in Frage kommen. Die Kugelkappen werden dazwifchen aus freier Hand eingewölbt unter etwaiger Benutzung einer Lehre oder einzelner dünner Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung der Kugelfläche entfprechend gefchnitten ift.

Abgeftumpfte oder offene Kloftergewölbe, deren Wangen, wie in Art. 90 (S. 175) gezeigt ift, cylindrifche Laibungsflächen befitzen, erhalten zweckmäfsig eine gefchloffene Unterfchalung.

98. Kloftergewölbe aus Backfteinen.

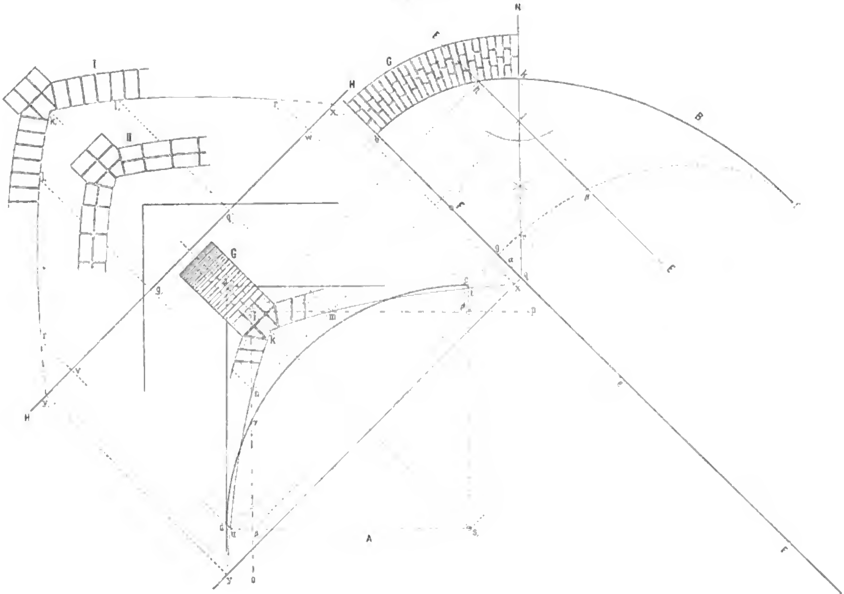
Wird für die aus Backfteinen auszuführenden Kloftergewölbe der Verband auf »Kuf« gewählt, fo laufen die Lagerfugenkanten der Lage der erzeugenden Geraden der cylindrifchen Wölbflächen gemäfs parallel mit den Kämpferlinien, fo dafs die gefamte Anordnung mit derjenigen eines Tonnengewölbes übereinftimmt. Läfst man die Gewölbwangen über den Gratlinien oder Kehlen ftumpf zufammentreten, fo zeigt fich die Kehllinie als Fuge. Soll diefe durchlaufende Fuge vermieden werden, fo läfst man die einzelnen Schichten über der Gratlinie im Verbande wechfelweife übergreifen. Hierdurch entfteht allerdings der Uebelftand, dafs die übergreifenden Eckteile der Backfteine, welche zwei fich durchdringenden Cylinderfchalen angehören, zur Aufnahme der Kehllinie etwas zugehauen werden müffen, wenn nicht für Gewölbe, die keinen Putzüberzug erhalten follen, bei reicherer Ausführung befondere Formfteine für die übergreifenden Stücke genommen werden. Müffen über den gewöhnlichen Kloftergewölben Balkenlagen hergerichtet werden, welche innerhalb ihrer freien Länge noch einer Unterftützung durch Balkenträger bedürfen, fo ift, da diefe Träger niemals auf dem Mauerwerk der Gewölbwangen ruhen follen, für diefe Gewölbe die Ausführung felbftändiger, genügend ftarker Grate als Gratbogen erforderlich, welche dann in geeigneter Weife durch Ausmauerung ihrer Zwickel oder durch Aufmauerung einzelner Pfeiler eine Stütze, bezw. eine Auflagerung für die erwähnte Balkenlage oder deren Träger gewähren können. Diefe Gratbogen find als für fich beftehende Tonnengewölbe regelrecht auszuführen. Die Gewölbwangen fetzen fich unmittelbar ftumpf gegen diefe Grate.

Bei der Einwölbung der Wangen auf »Schwalbenfchwanzverband« werden die bei diefem Verbande in Art. 81 (S. 158) gegebenen allgemeinen Regeln befolgt. Zweckmäfsig wird jedoch im befonderen den einzelnen Wölbftreifen eine folche Richtung gegeben, dafs die Lagerflächen derfelben in Normalebenen zu den Kehllinien des Gewölbes liegen, gleichgültig, ob befondere Gratbogen zur Ausführung kommen oder nicht.

In Fig. 159 find in *tmk* und *unk* die wagrechten Projektionen der inneren Lagerfugenkanten der in *k* zufammentretenden Wölbftreifen für eine beliebige Normalebene *N* der Kehllinie *bf* beftimmt. Der Grundrifs des mit einem Kloftergewölbe zu überfpannenden Raumes *A* ift hier der Einfachheit wegen quadratifch gewählt. Die Urfprungsleitlinie oder der Grundbogen des Gewölbes ift als ein um *s*, befchriebener Viertelkreis *cd* feftgefetzt. Die Kehllinie wird demnach eine Viertelellipfe mit den Halbachfen *eb*, *ef* und den Brennpunkten *F*, *F*. Diefelbe ift in einer zur Gratebene parallelen lotrechten Ebene *B* gezeichnet. Durch einen beliebigen Punkt *k* des Gratbogens ift eine Normalebene *N* mit den Spuren *kq* und *qy* geführt.

Diefe Normalebene fchneidet die lotrechte Projektion *gf* des Grundbogens *cd* im Punkte *r*, alfo in einem Grenzpunkte der nach *k* führenden Lagerkante eines Wölbftreifens. Die wagrechte Projektion

Fig. 159.



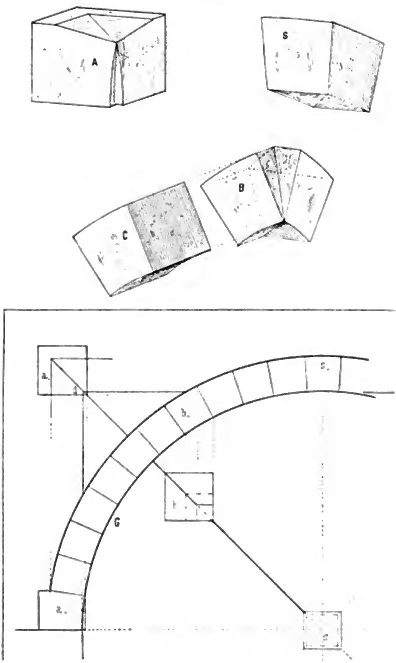
dieses Punktes ist der auf der Grundrissprojektion s, c der Leitlinie $c d$ gelegene Punkt t. Führt man durch die Ebene B die beliebige, zwischen den Grenzpunkten r und k gelegene wagrechte Ebene $E E$, so schneidet dieselbe die Normalebene in der auf der Ebene B durch l gehenden Lotrechten und die Gewölbwangen in geraden Erzeugenden, welche, wie aus der Zeichnung zu entnehmen, als $i p$, bezw. $i o$ mittels der Punkte β, in ihrer Grundrissprojektion leicht angegeben werden können.

Die wagrechten Projektionen m und n der Durchstosspunkte des in l befindlichen Lotes auf B mit den Gewölbwangen liegen auf diesen Erzeugenden und ergeben sich somit wiederum als Punkte der gesuchten wagrechten Projektion der Lagerkante, welche dem Normalschnitte N angehört.

Vervollständigt man nach diesen Anleitungen die Linienzüge $t m k$, bezw. $u n k$, so erhält man die gesuchten Lagerfugenkanten eines Wölbstreifens für eine Normalebene N. Wird dieses Verfahren wiederholt für alle Wangen in Anwendung gebracht, so ergiebt sich die Anordnung der Wölbstreifen für den Schwalbenschwanzverband.

Nachdem die Projektionen der Lagerkanten der inneren Wölbfläche für eine Schicht ermittelt sind, läfst sich nach der Darstellung I die wirkliche Gestalt x, k, y, derselben finden, wobei z. B. $q, l_{,}$, bezw. g, l, gleich $q l$ sein mufs. Sollen Gratbogen eingeführt werden, so zeigen die beiden Schichtenanordnungen I und II den anzuwendenden Backsteinverband. Die Wölbstreifen setzen sich hierbei mit winkelrecht zu k, l, gerichteten Fugen an.

Fig. 160.



99. Klostergewölbe aus Bruchsteinen.

Dienen Bruchsteine als Wölbmaterial für Klostergewölbe, so ist unter Beobachtung des Verbandes auf »Kuf« wie bei Backsteinmaterial zu wölben. Im übrigen ist das in Art. 50 (S. 105) für Tonnengewölbe aus Bruchsteinen Vorgetragene auch hier zu berücksichtigen.

100. Klostergewölbe aus Quadern.

Bei Klostergewölben aus Quadern wird der Fugenschnitt für die Lager- und Stofsfugenflachen der einzelnen Wölbsteine dem Verbande auf »Kuf« zugeordnet. Die Wölbquader der Wangen sind einfache Tonnengewölbsteine. Besondere Gestaltung erfordern die Anfänger an den Ecken des Gewölbes, die Gratsteine und der Schlufsstein desselben.

In Fig. 160 ist für eine quadratische Grundfläche der Steinfugenschnitt für ein Klostergewölbe mit einem Viertelkreis G als Grundbogen gegeben. Die Ermittelungen der Begrenzungsflächen der einzelnen an-

geführten Steine lassen sich durch einfache Anwendungen der darstellenden Geometrie bewirken. Dieselben gehen aus der Zeichnung genügend hervor.

A, gebildet nach seinen Projektionen $a_,$ $a_{,,}$ ist der Anfänger; *B*, ermittelt nach den Projektionen $b_,$ $b_{,,}$ ist ein Gratstein. Bei demselben sind fortlaufende Ansätze, welche noch weiter in die Gewölbkappe reichen würden, absichtlich fortgelassen und dieserhalb die Stofsfugenflächen einfach entsprechend den Lagerfugenflächen abgegrenzt, wie solche bei $b_{,,}$ durch die Teilung der Gewölbwangen entstehen. Etwa weiter in die Wangen fortgeführte Ansätze liefern einen hakenförmigen Stein von meistens bedeutenden Abmessungen. Bei der Bearbeitung dieser Werkstücke mufs zur Bildung des Hakens ein erheblicher Teil des Materials als überflüssig fortgenommen werden, was bei dem hier gegebenen Fugenschnitt vermieden wird. *C* ist ein gewöhnlicher Wölbstein der Wange und *S* endlich der Schlufsstein, dessen Projektionen in $s_,$ und $s_{,,}$ vorhanden sind.

Für ein Klostergewölbe aus Schnittsteinen über einem rechteckigen Raume gelten in den Hauptzügen dieselben Anordnungen für den Fugenschnitt, wie bei dem vorhin behandelten Gewölbe. Die Gratsteine bedürfen jedoch einer besonderen Aufmerksamkeit.

Bei einem rechteckigen Raume (Fig. 161) sind die Leitlinien der unmittelbar nebeneinander stehenden Gewölbwangen voneinander verschieden. Ist der Grundbogen der schmaleren Wange hier ein Viertelkreis, so ergiebt sich für die Leitlinie der antretenden breiteren Wange eine Viertelellipse und weiter auch die Kehllinie als die Viertelellipse $o_{,,}$ $s_{,,}$.

Nimmt man nun aus praktischen Gründen für alle Wangen dieselbe Gewölbstärke und aufserdem auch für die Teilweiten der ungeraden Anzahl der Wölbsteine jeder Wange möglichst gleiche Abmessungen an, so werden die den Teilpunkten der Wölblinie von je zwei zusammengefügten Wangen zukommenden Lagerkanten, welche parallel mit den Kämpferlinien laufen müssen, im allgemeinen nicht in gemeinschaftlichen, der Reihe nach aufeinander folgenden Punkten auf der Gratlinie *os* zusammentreffen.

Um dennoch geeignete und nicht sehr schwierig zu bearbeitende Gratsteine zu erhalten, an welchen spitze Ecken und Schneiden so viel als irgend möglich zu vermeiden sind, kann die Anordnung des Fugenschnittes für diese Steine in der folgenden Weise vorgenommen werden.

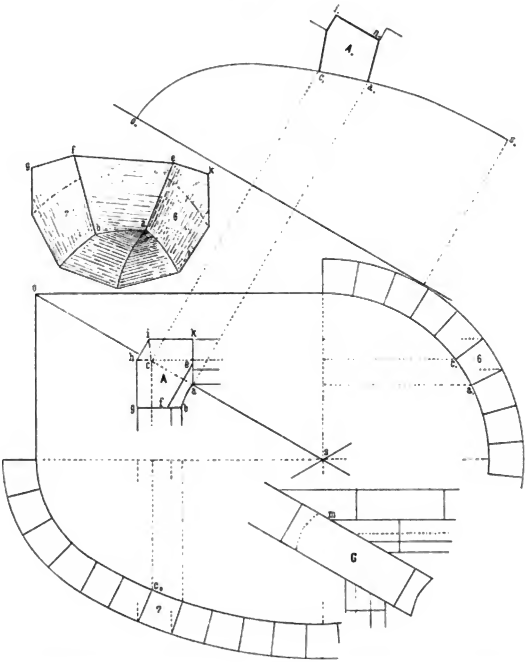
Sind die Teilungen für die Wölbsteine an der Ursprungsleitlinie des Klostergewölbes bestimmt, so mögen die Lagerkanten eines beliebigen Steines *6* die Gratlinie *os* in der Grundrifsprojektion in den Punkten *a* und *c* schneiden. Sind ferner auch die Teilungen der nach dem Grundbogen ermittelten Wölblinie der antretenden Gewölbwange für die Wölbsteine eingetragen, so mögen die Lagerkanten eines Steines *7* denjenigen des Steines *6* in ihren Schnittpunkten auf der Gratlinie *os* am nächsten liegen, jedoch ganz abgesehen davon, dafs, wie in der Zeichnung sich ergiebt, der Punkt *c* für die Lagerkanten *c*, bezw. c_0 bereits ein gemeinschaftlicher Schnittpunkt ist. Von dem am nächsten nach dem Scheitelpunkte *s* zu liegenden Schnittpunkte *a* aus wird die Normalebene $a_{,,}$ $n_{,,}$ für die Gratlinie $o_{,,}$ $s_{,,}$ geführt und nach dem bei Fig. 159 gezeigten Verfahren die Grundrifsprojektion *ab* der Schnittlinie dieser Ebene mit der Wange, welche die nach *o* zurückliegende Lagerkante *b* des Steines *7* enthält, soweit ermittelt, bis dieselbe diese Lagerkante in *b* trifft. Führt man durch *a* und *b* parallel zu der wagrechten Projektion der Scheitellinien der zusammentreffenden Wangen lotrechte Ebenen *ak* und *bg*, so enthalten dieselben die Stofs- oder Stirnflächen des Gratsteines *A*. Die Begrenzungen dieser Flächen ergeben sich weiter durch die Lagerkanten *ki*, bezw. *gh*, welche den Rückenflächen der Steine *6* und *7* angehören und durch die Stirnflächen dieser Steine selbst. Die Stofsfläche *abfe* ergiebt sich aus dem angenommenen, von den Punkten $a_{,,}$, bezw. $c_{,,}$ abhängigen lotrechten Schnitte $A_{,,}$ des in der Gratebene liegenden Gratsteines, durch Benutzung der durch $n_{,,}$ gehenden wagrechten Schnittlinie am Rücken des Gratsteines, welche zugleich senkrecht auf der Gratebene steht. Die Linie *ef* ist die wagrechte Projektion jener Schnittlinie. Genau so würde für den Punkt *c* vorzugehen sein. Hierfür ist durch $c_{,,}$ der Gratlinie eine Normalebene gelegt. Die wagrechte Projektion ihrer Schnittlinie mit der Wange, welche die Lagerkante c_0 enthält, beschränkt sich hier nur auf einen Punkt *c*. Die Stofsfläche *chi* ergiebt sich nach der Schnittfläche $A_{,,}$ ohne weiteres.

Hätte der Schnittpunkt der Lagerkante von c_0 mit der Gratlinie os eine nähere Lage nach s zu aufgewiefen, als der Schnittpunkt c der Lagerkante c_1, fo würde die wagrechte Projektion der Schnittlinie der Normalebene, welche nun dem Gratpunkt, der alsdann von c_0 abhängig wäre, angehören müfste, für die Beftimmung des betreffenden Fugenfchnittes mafsgebend geworden fein.

Im Bilde ift die Form des Gratfteines *A* noch weiter verdeutlicht; auch find darin die Stofsflächen der Wölbfchichten *6* und *7* angegeben. Ein Fugenfchnitt, wie bei *m* und *G*, ift zu verwerfen.

Tritt der Fall ein, dafs gegen einen und denfelben Gratftein von einer Seite allein oder gar von zwei Seiten zwei Wölbfchichten geführt werden müffen, fo werden

Fig. 161.



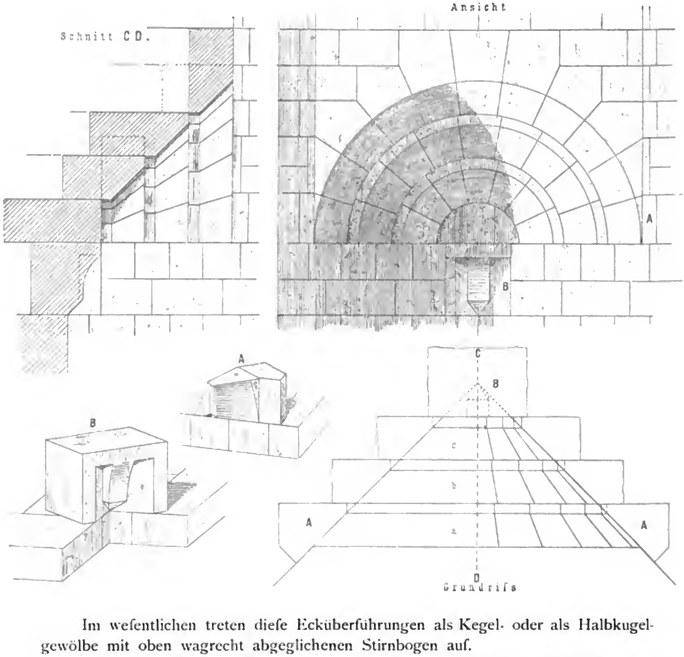
dadurch die grundlegenden Beftimmungen für den Fugenfchnitt nicht geändert. Die gekennzeichneten Normalfchnitte find alsdann nur jedesmal für die beiden äufserften Lagerkanten der antretenden Wölbfchichten in Anwendung zu bringen.

Für das Verfetzen der Quader, die Mörtelung und die fonftigen Handhabungen, welche fich dabei geltend machen, kann auf Art. 51 (S. 106) verwiefen werden.

101. Ecküberführungen. Sind für einzelne Wangen eines Klostergewölbes die in Art. 91 (S. 178) erwähnten Ecküberführungen notwendig, so werden dieselben außer in der in Fig. 155 (S. 178) angegebenen Anordnung aus übereinander lagernden kräftigen Tragsteinen oft weit zweckmäßiger durch besondere Eck- oder Nischengewölbe gebildet.

Am zweckmäßigsten wird für diese Gewölbe Quadermaterial unter Anwendung eines geeigneten Fugenschnittes benutzt.

Fig. 162.



Im wesentlichen treten diese Ecküberführungen als Kegel- oder als Halbkugelgewölbe mit oben wagrecht abgeglichenen Stirnbogen auf.

Das aus einzelnen Gewölbzonen oder Quarten hergerichtete einfache kegelförmige Nischengewölbe ist in Fig. 162 dargestellt und hieraus in seiner Anlage und in seinem Fugenschnitte deutlich zu erkennen. Von Wichtigkeit ist eine geeignete Durchbildung des Anfängers oder des sog. Auges *B*, von welchem aus die Ecküberführung zu beginnen hat. Für dieses Auge wird stets ein hinlänglich großes Werkstück benutzt.

Das an sich weniger einfache, vollständige Kegelgewölbe ist als Nischengewölbe

in ſeinem Steinverbande nach Fig. 163 anzuordnen. Die Lagerfugenflächen, welche von der Teilung des Stirnbogens abhängig gemacht werden, laufen gegen das Auge *D*. Sie gehören Ebenen an, welche erweitert ſich ſämtlich auf der Kegelachſe ſchneiden. Die Stoſsfugenflächen dagegen gehören beſonderen Kegelflächen

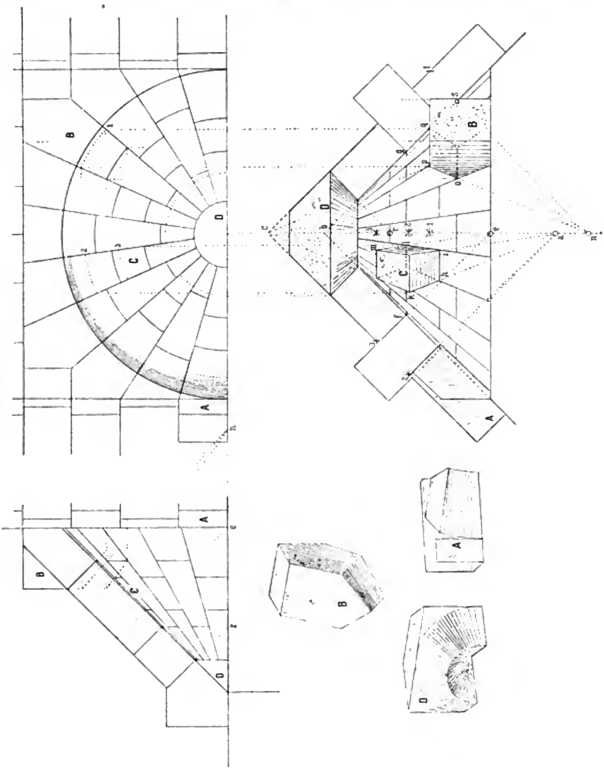


Fig. 163.

an, deren Leitlinien Schnittlinien ſind, welche durch Ebenen, parallel zur Stirnlinie des Niſchengewölbes geführt, auf der Laibungsfläche dieſes Gewölbes hervorgerufen werden und deren Erzeugende gerade Linien ſein ſollen, welche ſenkrecht zur Kegelfläche des Niſchengewölbes ſtehen.

Befitzt das Gewölbe eine gleichmäfsige Stärke und find *b* und *c* die Spitzen der Kegelflächen der inneren Laibung und des Rückens, fo find *b s* und *c t* parallele Erzeugende in der Kämpferebene des Kegelgewölbes. Der Abftand *s t* diefer Erzeugenden ift der Gewölbftärke gleich. Soll nun z. B. die Stofsfugenfläche *o p q* für die durch *o* ziehende Stofsfugenkante beftimmt werden, fo führt man durch *o* parallel zur Stirnebene in der Richtung *o s* einen lotrechten Schnitt; alsdann enthält diefer die Stofsfugenkante. Errichtet man in *s* das Lot *s n* auf der Erzeugenden *b s*, fo trifft dafselbe die Kegelachfe im

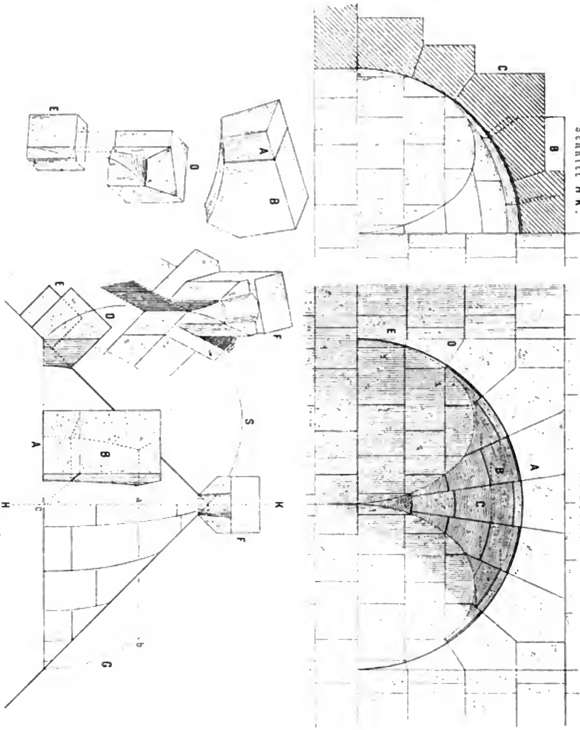


Fig. 164.

Punkte *n*. Erweitert man *n s* bis *t* der Erzeugenden *c t* der Rückenfläche, legt man durch *t* wieder eine parallele Ebene zur Stirnebene *e* des Gewölbes, fo giebt *t t* die Lage der Stofsfugenkante auf der Rückenfläche in der Grundrifsprojektion an. Da der Punkt *q* mit Hilfe des Kreisbogens vom Halbmeffer *t t* und der Aufrifsprojektion entfprechend zu finden ift, fo bleibt nur noch übrig, durch *n* und *o*, bezw. durch *n* und *q* gerade Linien zu ziehen, um die Grundrifsprojektion der Stofsfugenfläche *o p q* zu erhalten. Aufrifs und Seitenprojektion ergeben fich auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege. Nach dem-

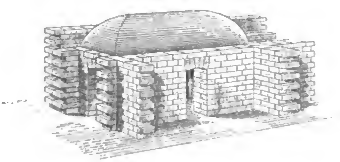
felben Verfahren find die Punkte *a* für die Stofsfugenfläche *h i k*, *e* für die Stofsfugenfläche *l m* des Steines *C* und endlich *r* für die kegelförmige Stofsfugenfläche des Auges *D* ermittelt. Die im Bilde vorgeführten Steine *A*, *B* und *D* laffen die ihnen zu gebende Form noch näher erkennen.

Das halbkugelförmige Nifchengewölbe mit abgefchnittenen Seiten ift in Fig. 164 vorgeführt. Bei demfelben ift *G* der gröfste Kreis einer Kugelfläche, welcher das Nifchengewölbe in feiner Laibungsfläche entnommen ift. Der Seitenbogen *S* ift ein Halbkreis mit dem Durchmeffer gleich der fchrägen Länge der Eckübertragung. Der Steinfugenfchnitt hat den Bedingungen zu entfprechen, dafs die fämtlichen Lagerfugenflächen Meridianfchnitte der Halbkugel find, während die Stofsfugenflächen Kegelflächen werden follen, die fämtlich den Mittelpunkt *c* der Kugelfläche zur Spitze haben. Die Leitlinien diefer Kegelflächen find Parallelkreife, welche, wie in der Grundrifsprojektion z. B. als *ab*, die Stofsfugenkanten enthalten. Nach diefen einfachen Forderungen ift an der Hand von Fig. 164 die Geftaltung der einzelnen Wölbfteine, wovon die wichtigften befonders noch perfpektivifch gezeichnet find, ohne Schwierigkeiten möglich.

b) Muldengewölbe.

Das Muldengewölbe ift ein längeres Tonnengewölbe mit an den Stirnfeiten vorgelegten Wangen eines Klostergewölbes. Dasfelbe entfteht, wie Fig. 165 angiebt, durch eine einfache Verbindung der beiden genannten Gewölbformen. Ein gemeinfchaftlicher Anfallspunkt der beiden Stirnwangen oder Walme fehlt. Statt eines Scheitelpunktes, wie beim Klostergewölbe, tritt eine mehr oder weniger lange Scheitellinie des eigentlichen Tonnengewölbes auf. Die Anfchlufspunkte der Kehl- oder Gratlinien der Stirnwalme find ftets die Endpunkte diefer Scheitellinie, gleichgültig, ob die fchmalen Stirnfeiten rechtwinkelig oder fchiefwinkelig zu den längeren, einander parallelen Umfangsmauern des zu überwölbenden Raumes ftehen. 102. Geftalt.

Fig. 165.





Je nach der für die Stirnwalme gewählten Weite find diefe Anfchlufspunkte feftzulegen. Die Grundrifsprojektionen der Kehllinien find gerade Linien, welche von den Ecken der Kämpferlinien nach den Anfchlufs- oder Anfallspunkten der Scheitellinie gezogen werden. Meiftens find bei einem Rechteck und auch bei einem Trapez als Grundrifs die wagrechten Projektionen der Kehllinien Halbierungsftrahlen der Winkel an den Ecken des Raumes. Sämtliche Umfangsmauern treten als Widerlager auf.

Alles, was hinfichtlich der Ausmittelung der Leitlinie für die Gewölbwangen und für die Beftimmung der Kehllinien derfelben beim einfachen Klostergewölbe gefagt wurde, findet auch unmittelbar wieder Anwendung beim Muldengewölbe.

Dasfelbe wird bei Feftungsbauten zur Ueberwölbung von Kafematten häufig benutzt. Infolge der hohen Erdüberfchüttung, welche bei derartigen Bauwerken über dem Gewölbe angebracht wird, ift dasfelbe meiftens fehr ftark herzurichten.

103. Ausführung. Die Stabilitätsunterfuchung im allgemeinen und die Ausführung der Muldengewölbe im befonderen erfolgt nach den für das Tonnengewölbe und das einfache Klostergewölbe gemachten Mitteilungen.

In architektonifcher Beziehung nimmt das Muldengewölbe, felbft wenn dasfelbe in feinen Laibungsflächen durch Einfügen von Stichkappen bewegter geftaltet werden follte, nur einen untergeordneten Rang ein.

14. Kapitel.

Spiegelgewölbe.

a) Geftaltung der Spiegelgewölbe.

104. Geftalt. Das Spiegelgewölbe ift ein Kloftergewölbe, welches zwifchen der Kämpferebene und dem Scheitelpunkt durch eine wagrechte Ebene abgefchnitten und in der dadurch gebildeten Oeffnung durch ein wagrechtes oder fcheitrechtes Gewölbe wieder gefchloffen wird. Die Laibungsfläche diefes wagrechten Gewölbes wird Spiegel genannt. Wird die Oeffnung zum Anbringen eines Deckenlichtes benutzt, fo entfteht ein Spiegelgewölbe mit Deckenlicht.

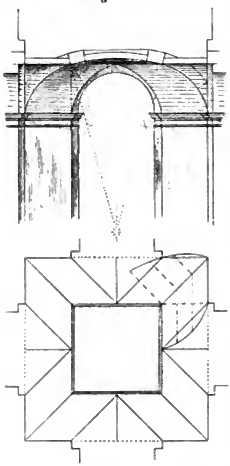
Zur weiteren Gliederung des Gewölbes werden in die als Teile von Kloftergewölben auftretenden Wangen häufig Stichkappen (Lunetten) eingefügt, deren Spitzen oder Anfallspunkte in nur geringer Entfernung von der Umrahmung des Spiegels oder unmittelbar in derfelben liegen.

Die Vereinigung eines fcheitrechten Gewölbes, felbft wenn dasfelbe eine geringe Pfeilhöhe (Stich, Stechung, Bufung) erhalten foll, mit den Wangen des Kloftergewölbes ift für die Herftellung eines Spiegelgewölbes in konftruktiver Beziehung bei ausfchliefslicher Verwendung von Steinmaterial und bei einer etwaigen gröfseren Deckenbildung immerhin mifslich. Der Gewölbfchub ift, wenn auch eine befondere Befchwerung des Gewölbes durch eine Nutzlaft vermieden wird, im allgemeinen bei derartigen Gewölben fchon bei der mäfsigen Breite des Spiegels von etwa 3 m ziemlich beträchtlich, fo dafs auf ftarke Preffungen im Gewölbkörper und ferner auch auf kräftige Durchbildung der Widerlagsmauern desfelben gerechnet werden mufs. Aus diefem Grunde werden in der Neuzeit gröfsere Spiegelgewölbe über Vorhallen, Treppenhäufern, Sälen u. f. w. nicht ohne Anwendung eines eifernen Stütz- und Tragfyftems ausgeführt, welches in feinem Gerippe die Gewölbteile aufnimmt.

In architektonifcher Beziehung hat das Spiegelgewölbe jedoch eine nicht zu unterfchätzende Bedeutung. Erfcheint dasfelbe vermöge der durch Lunetten unterbrochenen, vom Widerlager auffteigenden Hohlkehlen feiner Wangen fchon als eine leicht fich erhebende, mit der Teilung der Umfangswände in harmonifcher Uebereinftimmung ftehende Deckenbildung, fo kann die Wirkung der ganzen Anlage durch Ausfchmückung der hierfür äufserft günftigen Gewölbflächen mit Ornamenten, Gemälden u. f. w. eine Steigerung erfahren, welche den höchften Anforderungen zu entfprechen vermag, die an Reichtum und Pracht in der Ausftattung der Spiegel-

gewölbe geftellt werden. Beifpiele derartiger in der Ausfchmückung üppiger Deckenbildungen, welche gleichfam als befondere Schauftücke zu betrachten find, bieten vielfach hervorragende Bauwerke, welche dem Bauftil der Renaiffance, dem Barock- und dem Rokokoftil angehören. Ift auch die wirkliche Konftruktion derartiger Decken oft durch ein Blendwerk von Holzverbindungen mit Putzüberzug gebildet und daher entfernt ftehend von einem eigentlichen Gewölbebau, fo ift doch das Studium derfelben um fo mehr zu empfehlen, als in der Jetztzeit Spiegelgewölbe, konftruiert als gemifchtes Syftem aus Eifen und Stein, mannigfach in Anwendung kommen.

Fig. 166.

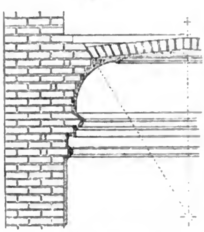


105. Einfache Spiegelgewölbe.

Das einfache Spiegelgewölbe (Fig. 166) kann über quadratifchen, rechteckigen oder auch über anderen, im Grundrifs regelmäfsig angeordneten Räumen ausgeführt werden. Unregelmäfsige Grundformen find dabei als für diefe Deckenbildung unfchön auszufchliefsen. Würde man in befonderen Fällen und bei untergeordneten Anlagen die Wangen des Gewölbes fortlaffen, fo würde an die Stelle des einfachen Spiegelgewölbes ein fcheitrechtes Gewölbe treten. Diefe follten aber nur bis zu einer Spannweite von höchftens 3,50 m in Anwendung kommen und niemals ganz wagrecht, fondern immer mit einem Stich von etwa 1 cm auf 1 m Spannweite in vorzüglichem Verbande und mit fehr gut bindendem Mörtel ausgeführt werden. Eine befondere Ueberlaft foll auf diefen Gewölben, wenn diefelben bei *Moller*'fchem Verbande in ihren von Widerlager zu Widerlager ziehenden Fugen nicht etwa durchgehende, hochkantig geftellte Flacheifen (Bandeifen) als Armierung erhalten, nicht ruhen. Sollte dem mit Stich behafteten fcheitrechten Gewölbe eine wagrechte Laibungsfläche gegeben werden, fo ift diefelbe durch entfprechend ftarken Putz zu erzielen.

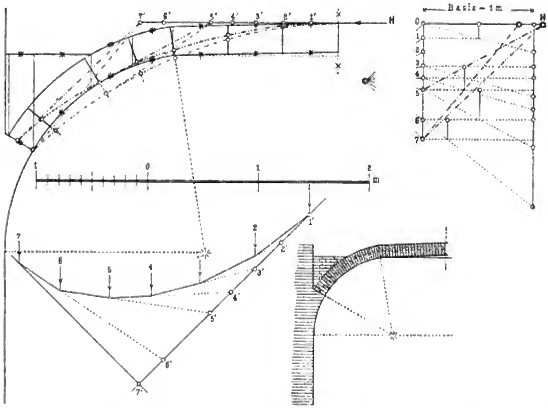
Will man dem fcheitrechten Gewölbe das Ausfehen eines Spiegelgewölbes gewähren, fo läfst man nach Fig. 167 ringsum an den Widerlagsmauern des Raumes mehrere Mauerfchichten wagrecht mit Auskragung anfetzen. Diefe ftaffelartig gebildeten Widerlager des mit mäfsigem Stich verfehenen fcheitrechten Gewölbes werden durch Putzüberzug zu einer Hohlkehle ausgebildet, welche durch eine gleichfalls aus Putz angefertigte Umrahmung der Spiegelfläche begrenzt wird. Bei gröfserer Ausladung der vorgekragten Widerlager können zweckmäfsig zur Sicherung und Unterftützung derfelben kleine ⊥-förmige Profileifen unter Benutzung von Zementmörtel mit eingemauert werden. Diefe Eifen greifen aufserdem noch mit entfprechender Länge in das Mauerwerk der Umfangsmauern ein.

Fig. 167.



Aber auch dann, wenn die Anſätze des Spiegelgewölbes als Wangenteile eines Kloſtergewölbes auszuführen ſind, werden ſachgemäſs die unteren Schichten derſelben, ſoweit thunlich iſt, vorgekragt (Fig. 168), um hierdurch die Weite der eigentlichen Wölbung möglichſt zu vermindern. Die in der Abbildung für einen Gewölbſtreifen von der Tiefe gleich der Längeneinheit eingetragene Mittellinie des

Fig. 168.



Druckes mit dem möglich kleinſten Gewölbſchub H giebt über die ſtatiſchen Verhältniſſe des Gewölbkörpers näheren Aufſchluſs.

106. Spiegelgewölbe mit Stützwerk aus Eiſen.

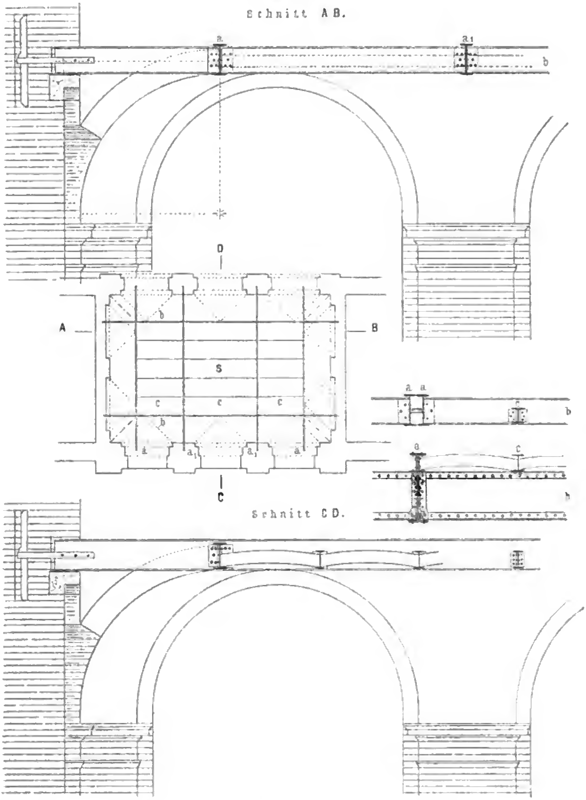
Gehen die Raumabmeſſungen für Decken als Spiegelgewölbe über $3{,}50^{m}$ hinaus, ſo verläſst man am beſten die einfache Gewölbebildung und geſtaltet die Decke durch Einfügen eines Gerippes aus Eiſenträgern zu einem gemiſchten Syſtem von Eiſen und Stein. In ſolchen Fällen wird die angeordnete Eiſenkonſtruktion als Trag- und Stützſyſtem der weſentlichſte Beſtandteil der Decke, während die zwiſchen dem eiſernen Rippenwerk eingefügten gewölbten Teile derſelben mehr als Füllwerk zur Herſtellung der Form des Spiegelgewölbes dienen.

Die Geſtaltung dieſer Decken iſt in den grundlegenden Anordnungen durch Fig. 169 näher angegeben.

Mit der Begrenzung des Spiegels S zuſammenfallend und zuweilen im Gebiete desſelben werden Walzeiſen- oder, bei bedeutender Weite und erheblichem Gewichte der Decke, eiſerne Nietträger a bezw. a, verlegt, welche ihre Auflager auf den Umfangsmauern erhalten und an ihren Enden durch ſorgſame Ummauerung, bezw. durch eine Verankerung die geſicherte Lage erhalten. Gegen dieſe Hauptträger a, a, ſetzen ſich in der weiteren Begrenzung des Spiegels liegende Querträger b. Dieſelben werden mit den Hauptträgern durch Winkeleiſen unter Anwendung einer guten Vernietung verbunden, ſo daſs hierdurch ein eiſerner Rahmen entſteht, welcher als Hauptgerippe der Decke ein entſprechendes oberes Widerlager für die unteren Wangen des Spiegels bietet, wie aus den Schnitten AB, bezw. CD hervorgeht. Zur weiteren Sicherung der miteinander verbundenen Haupt- und Querträger werden dieſelben oft noch durch beſondere Konſoleträger unterſtützt, welche von den feſten Umfangsmauern aus bis zu den

Trägern *a*, bezw. *b* geführt werden. Die untere Begrenzungslinie dieſer Konſoleträger hat ſich nach der Wangenlinie, bezw. nach der Kehllinie des Gewölbes zu richten. Für die Einwölbung des Spiegels *S* werden noch in Entfernungen von etwa 1 m voneinander kleine Nebenträger *c* eingebracht. Dieſelben

Fig. 169.



werden unter Beobachtung ihrer geringſten Längenausdehnung in geeigneter Weiſe entweder mit den Querträgern *b* oder mit den Hauptträgern *a* durch Winkeleiſen und Nietung, bezw. Verſchraubung verbunden. Die durch Einſchaltung dieſer Nebenträger entſtehenden, ſehr ſchmalen Gewölbfelder des Spiegels

werden mit ganz flachen Kappengewölben, bezw. fcheitrechten Gewölben gefchloffen, welchen nur etwa 2 cm Stich gegeben wird.

Soll die Oeffnung im Trägergerippe *a*, *b* für ein Deckenlicht benutzt werden, fo bleiben die Nebenträger *c* fort. Das Rahmenwerk des Gerippes dient alsdann zur Aufnahme der Konftruktionsteile des Deckenlichtes.

Für die Geftaltung der Lunetten (Stichkappen) in den Gewölbwangen des Spiegelgewölbes behält das hierüber beim Kloftergewölbe in Art. 87 (S. 166) Gefagte Gültigkeit.

b) Stärke der Spiegelgewölbe und ihrer Widerlager.

107. Gewölbftärke. Das einfache Spiegelgewölbe würde in den Elementarftreifen, parallel zu den Achfen feiner Gewölbwangen zerlegt, dem Stücke eines Tonnengewölbes mit einer nach einem flachen Korbbogen gebildeten Wölblinie entfprechen. Die Ermittelung der Stabilität und der Stärke eines folchen Elementarftreifens kann, wie Fig. 168 zeigt, ganz nach den beim Tonnengewölbe in Kap. 11 (unter b) gemachten Angaben bewirkt werden.

Wird der Spiegel des Gewölbes auf Schwalbenfchwanz ausgeführt, fo find die in Art. 62 (S. 137) gegebenen Mitteilungen zu berückfichtigen. Da die einfachen Spiegelgewölbe zum Tragen einer Ueberlaft nicht in Anfpruch genommen werden follen, fo ift bei der Stabilitätsunterfuchung derfelben nur das Eigengewicht des Wölbmaterials in Betracht zu ziehen.

108. Widerlagsftärke. Ausgehend von den erwähnten Elementarftreifen, deren Spannweite einmal von der Länge des zu überdeckenden Raumes, fodann von der Breite desfelben abhängig wird, ift die Widerlagsftärke der Spiegelgewölbe gleichfalls wie beim Tonnengewölbe nach dem in Art. 23 (S. 57) Vorgetragenen zu ermitteln.

109. Empirifche Regeln. Für Spiegelgewölbe find empirifche Regeln zur Beftimmung ihrer Gewölbftärke und der Widerlagsftärke durchaus nicht am Platze. In jedem befonderen Falle ift auch eine befondere, foeben gekennzeichnete Stabilitätsunterfuchung und Ermittelung der Abmeffungen für eine derartige Gewölbanlage vorzunehmen.

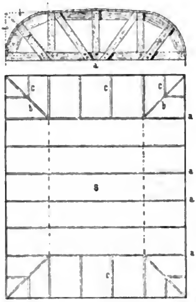
110. Spiegelgewölbe mit Eifengerippe. Bei den für gröfsere Deckenbildungen in Frage kommenden Spiegelgewölben mit Eifengerippen nimmt die ftatifche Unterfuchung der eifernen Trägerkonftruktion den erften Rang ein. Sind die Belaftungen diefer Hauptbeftandteile der Decken ermittelt, fo find die Berechnungen der Träger nach den in Teil III, Band 1 (Abt. 1, Abfchn. 3, Kap. 7) diefes »Handbuches« gegebenen Entwickelungen durchzuführen. Bei der ftatifchen Unterfuchung der vom Widerlager bis zu dem höher und am Spiegel gelegenen Trägerfyftem auffteigenden Wangen ift zu beachten, dafs ein Elementarftreifen derfelben einem einhüftigen Gewölbe angehört; hiernach ift die Unterfuchung desfelben im Sinne des in Art. 27 (S. 68) Gefagten zu führen. Wird der Spiegel in feinen Feldern durch Kappengewölbe gefchloffen, fo ift die Stabilität derfelben auf Grund des in Art. 57 (S. 123) Gegebenen zu prüfen.

c) Ausführung der Spiegelgewölbe.

111. Allgemeines. Da das Spiegelgewölbe in Anbetracht feiner eigentlichen Geftaltung und Konftruktion feine Aufgabe weit mehr darin zu fuchen hat, eine leicht durchgeführte, entfprechend gegliederte und gefchmückte, raumabfchliefsende Decke zu liefern, als noch aufserdem fremde Laften zu tragen, fo ift dementfprechend bei der Ausführung der Spiegelgewölbe namentlich bezüglich des zu verwendenden Wölbmaterials und Bindemittels gebührende Rückficht zu nehmen.

Aus dieſem Grunde treten als Hauptbauſtoffe für Spiegelgewölbe Backſteine, die gewöhnlichen Lochſteine oder hinreichend feſte poröſe Barnſteine in den Vordergrund. Bruchſteine ſind im allgemeinen auszuſchlieſsen, während Quader bei verhältnismäſsig gering geſpannten Spiegelgewölben benutzt werden können. Bei Verwendung von Backſtein iſt ferner eine vorzügliche Verkittung der Wölbſteine geboten und deshalb ein ausgezeichneter Zementmörtel, bezw. verlängerter Zementmörtel als Bindemittel in jeder Beziehung für den geſicherten Beſtand der Spiegelgewölbe anzuraten.

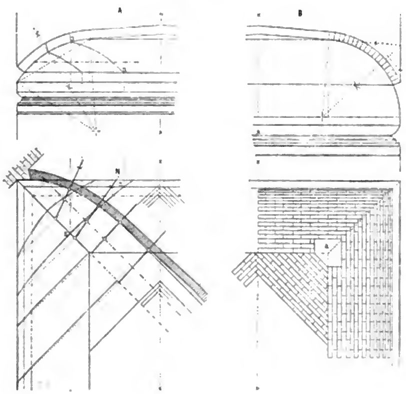
Fig. 170.



Für die Ausführung der Spiegelgewölbe wird eine vollſtändige, auf Lehrbogen, bezw. Wölbſcheiben lagernde Unterſchalung hergerichtet. Soweit der Spiegel *S* reicht, werden nach Fig. 170 die Hauptlehrbogen *a* in Entfernungen von $1{,}00$ bis $1{,}50$ m aufgeſtellt. Gegen dieſelben legen ſich Lehrbogen *b*, welche für die Kehllinien der Wangen in bekannter Weiſe auszumitteln ſind, und die Schiſtlehrbogen *c* von je zwei einander gegenüberliegenden Wangen. Im übrigen gilt das beim Tonnengewölbe in Art. 33 (S. 80) hinſichtlich der weiteren Behandlung der Gewölbgerüſte Geſagte. 112. Lehrgerüſte.

Bei Spiegelgewölben zwiſchen Eiſengerippe erhalten die einzelnen Gewölbteile gleichfalls eine Unterſchalung. Die Lehrbogen oder die in vielen Fällen für die Wangen zu benutzenden einfachen Wölbſcheiben reichen alsdann nur vom Kämpfer bis zu den Rändern des Spiegels, während letzterer für ſich, falls ein geſchloſſener Spiegel ausgeführt werden ſoll, eine Unterſchalung erhält, wie ſolche bei flachen Kappengewölben üblich iſt.

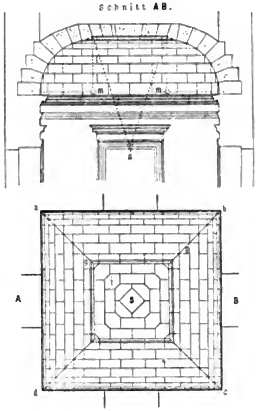
Fig. 171.



Bei den einfachen Spiegelgewölben aus Backſtein kann, wenn die Wangen Hohlkehlen bilden, ihre Wölblinie ein flacher Kreisbogen iſt, der Verband auf Kuf, bezw. auf Schwalbenſchwanz durchweg für Wangen und Spiegel beibehalten werden. Wird dagegen die Wölblinie der Wangen ein Viertelkreis, ſo wählt man für dieſelben den Verband auf Kuf, während der Spiegel dann allein meiſtens im Schwalbenſchwanzverband eingewölbt wird. 113. Spiegelgewölbe aus Backſtein.

Beide Anordnungen find in Fig. 171 bei *A*, bezw. *B* dargeftellt. Bei der in *B* gegebenen Einwölbung ift zur Erzielung eines zweckmäfsigen Anfatzes der in Schwalbenfchwanzverband antretenden Wölbung das Einfügen befonderer Werkftücke *a* an den Ecken des Spiegels zu empfehlen.

Fig. 172.



Die Wangen der Spiegelgewölbe mit eifernem Rippenfyftem werden auf Kuf eingewölbt, während die Kappen des Spiegels in demfelben Verbande oder auf Schwalbenfchwanz herzurichten find.

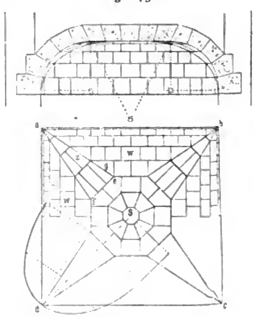
Soll der Spiegel Kaffetten erhalten, fo ift der in Art. 44 (S. 94) mitgeteilte Verband anzuwenden.

114. Spiegelgewölbe aus Quadern.

Für Spiegelgewölbe über Räumen von etwa 4,00 m gröfster Seitenabmeffung können bei genügend ftarken Umfangsmauern und bei mäfsiger Belaftung der Decke von oben auch Quader als Wölbfteine zur Anwendung kommen. Der Steinfugenfchnitt derfelben ift im allgemeinen dem Verbande auf Kuf entfprechend zu ordnen.

Im befonderen ift für die Grat- oder Kehlfteine, um eine hakenförmige Geftalt derfelben zu vermeiden, die Anordnung *g* (Fig. 172) nach den beim Kloftergewölbe in Art. 100 (S. 185) gegebenen Darftellungen vorzunehmen, während die übrigen Wangenfteine als gewöhnliche Tonnengewölbfteine zu laffen find. Die Formen der Wölbfteine des Spiegels *S*, welcher in feiner Gefamtheit nur eine mit nahezu ebener Laibungsfläche behaftete, ohne ausgefprochene Kehllinien beftehende Fortfetzung der Wangenflächen ift, entfprechen ebenfalls den übrigen Wangenfteinen. Auch hierbei kann die Bildung der Eckfteine *i* der einzelnen Schichten ohne hakenförmigen Anfatz bewirkt werden.

Fig. 173.



Soll bei Gewölben über quadratifchen oder rechteckigen Räumen dem Spiegel in empfehlenswerter Weife eine nach dem Achteck feftgelegte Begrenzung gegeben werden (Fig. 173), fo laufen an jeder Ecke des Raumes vom Kämpferpunkte *a* aus zwei Kehllinien *a e*, *a f* nach den Ecken des Spiegels. Diefelben begrenzen die gröfseren Wangen *w* und kleinere, in der wagrechten Projektion als Dreiecke *a e f* erfcheinende Wangen *z*. Für die Schnittlinien nach *a e* und *a f* find wiederum befondere Grat- oder Kehlfteine zu fchaffen, deren Fugenfchnitt fich ohne Schwierigkeit ermitteln läfst, fobald das Feftlegen der Ge-

ſtalt der Kehllinien und Wölblinien der Dreieckswangen z nach dem gewählten Grundbogen einer Wange w vorgenommen iſt. Aus der Zeichnung geht die allgemeine Anordnung der Lager- und Stoſsfugenkanten für die Wangen und den Spiegel S auf der wagrechten Projektion der Laibungsfläche des Gewölbes hervor.

Hinſichtlich des Verſetzens der Quader, des Mörtels u. ſ. f. iſt auf Art. 51 (S. 106) zu verweiſen.

15. Kapitel.

Kreuzgewölbe im allgemeinen.

115. Syſtembildung.

Das Beſtreben und auch das Bedürfnis, bei der Grundriſsentwickelung eines Bauwerkes mehrere nebeneinander liegende Räume, welche mit dem wohlbekannten halbkreisförmigen Tonnengewölbe überdeckt werden konnten, in höherem Maſse in Verbindung zu bringen, als ſolches an ſich durch die in den Stirnmauern ſolcher Gewölbe leicht zu ſchaffenden Oeffnungen möglich war, muſste naturgemäſs dazu führen, auch in den eigentlichen Widerlagskörpern dieſer Decken Oeffnungen anzulegen und nach oben durch kleinere Tonnengewölbe, d. h. durch beſondere Bogen, abzuſchlieſsen. Mochte dieſe Bogenanlage auch anfänglich mit ihren Scheitelhöhen noch in gröſserem oder geringerem Abſtande unter dem Fuſse des Tonnengewölbes auftreten, immerhin war die Auflöſung der Maſſe des Widerlagskörpers in einzelne mehr oder weniger breite Pfeiler erreicht. Konnte man nun die Bogen der Widerlagsöffnungen mit einer gröſseren Länge behaften und durch rechtwinkelig zu den geſchaffenen Pfeilern ſtehende, an den Hauptraum tretende neue Widerlagskörper ſtützen, ſo entſtand ein Zuſammenhang von mit Tonnengewölben überdeckten Räumen, welche jedoch in Rückſicht auf das Hauptgewölbe eine tiefere Kämpferlinie befaſsen. Eine ſolche Anlage konnte nicht in allen Fällen befriedigen, und wenn auch die Römer des Abendlandes, namentlich bei der Anwendung von Quadern als Wölbmaterial, die verſchieden hohe Lage der Kämpfer aufeinander tretender Tonnengewölbe noch nicht vermieden, ſo machten ſich doch, vom Morgenlande ausgehend, Einflüſſe geltend, welche eine beſſere Vereinigung der zuſammentreffenden Tonnengewölbe erzielen lieſsen. Fielen die Kämpferlinien dieſer Gewölbe in eine und dieſelbe wagrechte Ebene, waren aber die Durchmeſſer derſelben verſchieden, ſo ſetzten ſich die kleineren Gewölbe als »Stichkappen« in das gröſsere Tonnengewölbe; waren dagegen die Durchmeſſer derſelben gleich groſs, ſo durchkreuzten ſich beide Tonnengewölbe und bildeten als beſondere Gewölbart das »Kreuzgewölbe«. In beiden Fällen war an allen Seiten des Raumes die Anlage entſprechend groſser Oeffnungen und damit eine Auflöſung der Widerlagsmauern in einzelne, das Gewölbſyſtem ausſchlieſslich ſtützende Pfeiler möglich, ſo daſs eine Reihe von derartigen Gewölbanordnungen für einen ausgedehnten Grundplan Platz greifen konnte. Durch die Einführung dieſer zuſammengeſetzten Tonnengewölbe iſt ein bedeutender Fortſchritt im Gewölbebau überhaupt angebahnt.

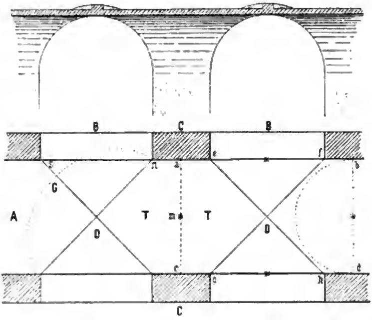
116. Römiſches Kreuzgewölbe.

Die Grundlagen des beſprochenen Wölbſyſtems, welches dem römiſchen Kreuzgewölbe entſpricht, ſollen an der Hand der Zeichnung noch näher erläutert werden.

In Fig. 174 iſt A ein halbkreisförmiges Tonnengewölbe mit der Weite $b\,d$. Gegen dasſelbe treten Tonnengewölbe B, deren Wölblinien gleichfalls Halbkreiſe

find vom Durchmeffer *ef*, bezw. *ns*, gleich der Weite der Wölblinie des Tonnengewölbes *A*. Die Achfen beider Gewölbgruppen liegen in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene und fchneiden fich rechtwinkelig. Die Stücke *D* der Gewölbe *B* ftecken gleichfam als Stichkappen im Hauptgewölbe *A*; fie befitzen in der Laibungsfläche der zufammengefügten Gewölbe einen gemeinfchaftlichen Anfallspunkt als Schnittpunkt der fich rechtwinkelig treffenden wagrechten Scheitellinien beider Gewölbe *A* und *B*, d. h. den Scheitelpunkt derfelben. Ueber *efgh* liegen die Schnittlinien diefer Gewölbe als befondere Diagonalbogen. Bei den gleichen Durchmeffern der Gewölbe find diefe Diagonalbogen in ihrer wagrechten Projektion gerade Linien, in ihrer wirklichen Geftalt aber halbe Ellipfen, deren grofse Achfe der Länge der Diagonalen *eh*, bezw. *fg*, deren halbe kleine Achfe dem Halbmeffer $ma = mc$, alfo dem Halbmeffer der Wölblinien der Gewölbe *A*, bezw. *B* entfpricht.

Fig. 174.



Das Gewölbe oberhalb *efgh* ift ein Kreuzgewölbe. Mit demfelben fteht jedoch noch ein Stück *T* des Tonnengewölbes *A* im Zufammenhange, fo dafs die der Reihe nach folgenden Kreuzgewölbe um eine Länge *en* voneinander abgerückt erfcheinen. Diefer Länge *en* gehören die für beide Gewölbe *A* und *B*, bezw. für die Kreuzgewölbe entftehenden Widerlagskörper in Geftalt eines Mauerpfeilers an. Von den Ecken *e* und *n*, bezw. *g* und *h* fteigen die Diagonalbogen der Kreuzgewölbe empor.

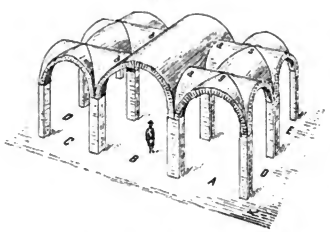
Diefe grundfätzlich getroffene Anordnung aneinander gereihter Kreuzgewölbe, zwifchen denen noch kurze Teile eines geraden Tonnengewölbes beftehen bleiben, war den Römern fchon hinlänglich bekannt geworden; auch heute noch wird diefelbe vielfach in Anwendung gebracht.

Geftattet diefe Anordnung die Ueberdeckung eines einzelnen rechteckigen längeren Raumes mit Kreuzgewölben, fo folgt auch beim Innehalten des grundlegenden Wefens derfelben ohne grofse Umftände die Möglichkeit des Zufammenfügens von Kreuzgewölben über ausgedehnteren Grundriffen fowohl der Länge, als auch der Breite des Raumes nach.

Ein derartiges Gewölbfyftem zeigt Fig. 175. Hierbei ift jedoch *B* noch teilweife als ein Haupttonnengewölbe belaffen, während für die Abteilungen *A* und *C*, bezw. *D* und *E* Kreuzgewölbe in ihrer Vollftändigkeit vorhanden find. Die Wölblinien der fich durchfchneidenden Tonnengewölbe *A* mit *D* und *E*, bezw. *C* mit *D* und *E* haben einen gleichen Durchmeffer; das Tonnengewölbe *B* dagegen befitzt einen Halbkreis als Wölblinie mit gröfserem Durchmeffer. Infolge hiervon treten bei diefem Gewölbfyftem die Stücke *a* und *b* der Kreuzgewölbe als gewöhnliche

Stichkappen für das Tonnengewölbe *B* auf; ihre höchften Anfallspunkte vereinigen fich nicht in einem gemeinfchaftlichen Schnittpunkte auf der Scheitellinie des Gewölbes *B*, fondern liegen tiefer als diefe Linie. Aus diefem Grunde ift das Gewölbe *B* nur ein Tonnengewölbe mit Stichkappen, kein eigentliches Kreuzgewölbe.

Fig. 175.



Die Stützen der gefamten Gewölbanlage beftehen aus einzelnen Pfeilern an den Ecken der zufammengefügten Gewölbftücke. Die Stellung der Pfeiler veranlafst die Gliederung des Raumes in einzelne innig zufammenhängende Abteilungen; diefelbe ift durch die gefetzmäfsige Bildung der gewölbten Decke bedingt.

Giebt man dem Gewölbe *B* denfelben Halbkreis als Wölblinie, wie den Gewölbzügen *A* und *C*, bezw. *D*, fo geht das ganze Wölbfyftem in Kreuzgewölbe über, welche fich der Länge und Breite nach für den in Frage kommenden Raum aneinander reihen.

Mag auch vorläufig davon abgefehen werden, in welcher Weife die Römer die Ausführung ihrer Kreuzgewölbe nach dem hier befchriebenen Wölbfyfteme bewirkten: das Ziel war erreicht, bisher räumlich voneinander getrennte Bauteile in innigen Zufammenhang zu bringen und bei der Raumteilung und der Deckenbildung zu einem organifchen Ganzen zu geftalten.

Der Einflufs, welchen diefes Wölbfyftem im Gefolge haben mufste, war bedeutend, und wenn auch für die Anwendung desfelben vorweg bei der Grundrifsbildung der einzelnen, mit Kreuzgewölben zu überfpannenden Raumabteilungen nur eine quadratifche Planlage innegehalten werden konnte, fo zeigt fich doch, dafs allmählich auch für rechteckige Planteilungen das gefchaffene Syftem unter Einführung von Umgeftaltungen, die jedoch den eigentlichen Kern der Form des Kreuzgewölbes nicht fchädigten, zur weiteren Benutzung fähig war.

117. Romanifches Kreuzgewölbe

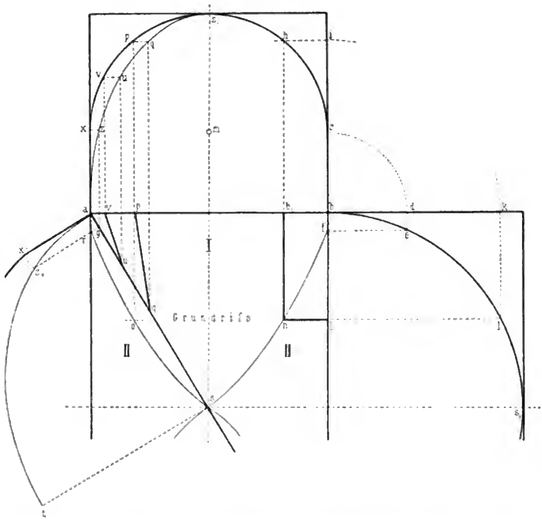
Die romanifche Baukunft übernahm das Kreuzgewölbe, und zwar zunächft über quadratifchen oder annähernd quadratifchen Grundrifsteilungen. Für die beiden bei folchen Kreuzgewölben zufammenfchneidenden Tonnengewölbe konnte die Halbkreisform mit gleichem Durchmeffer als Wölblinie beibehalten werden. Das Einwölben felbft erfolgte aller Wahrfcheinlichkeit nach in der Weife, dafs zunächft das eine Tonnengewölbe vollftändige Unterfchalung erhielt, auf welche alsdann, wie folches noch heute beim Anbringen von Stichkappen in Tonnengewölben üblich ift, fich die Schalungen für die quer antretenden Tonnengewölbftücke legten. In den Schnittlinien diefer Schalungen mit derjenigen des erften Gewölbes ergab fich fofort die Geftalt der Diagonalbogen des Kreuzgewölbes von felbft.

So einfach fich hierdurch die Beftimmungsftücke eines Kreuzgewölbes bei quadratifchem Gewölbfelde ergaben, fo bedenklich wurde die Geftaltung der Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Felde, fobald die Scheitellinien der zufammentretenden Gewölbftücke oder Gewölbkappen in gleicher Höhe über der Kämpferebene liegen und die Wölblinien der Kappen fich im ganzen der Halbkreisform möglichft anfchliefsen follten. In folchen Fällen lag die in Fig. 176 gekennzeichnete

Geſtaltung des Gewölbes nahe, wonach für die lange Seite des Rechteckes ein Stirnbogen als voller Halbkreis beibehalten, der Stirnbogen der ſchmalen Rechtecksſeite ebenfalls als Halbkreis mit entſprechend kleinerem Durchmeſſer *a b*, aber mit einer Ueberhöhung *a x*, bezw. *b c* eingeführt wurde, um durch dieſe Ueberhöhung oder Stelzung die Scheitellinien der zuſammentretenden Gewölbkappen in die gleiche Höhe zu bringen.

Wurde nunmehr das Gewölbe *II* eingeſchalt und traten alsdann die Schalungen der Gewölbkappen *I* in rechtwinkeliger Richtung gegen die Ebene des überhöhten

Fig. 176.

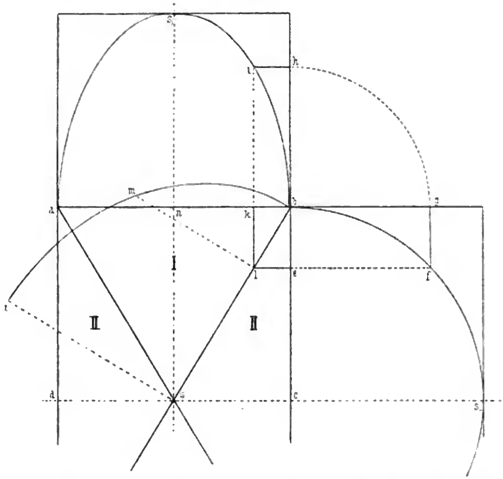


Stirnbogens *a b*, z. B. nach *b, n*, ſo ergaben ſich danach Schnittlinien *f n s*, bezw. *r o s* der Gewölbkappen, welche in ihrer Grundriſsprojektion nicht den Richtungen der Diagonalen des Rechteckes folgten, ſondern als krumme Linien auftraten. Auſserdem beginnen dieſe Schnitt- oder Gratlinien erſt in der Höhe *b d*, bezw. *b c* über der Kämpferebene, und infolge hiervon entſpringt an den langen Stirnſeiten des Raumes ein Stück einer lotrechten Wand *b e d*, entſprechend dem Ohr für eine Stichkappe *I*. Kommen auch derart geſtaltete Kreuzgewölbe mit doppelt gekrümmten Gratlinien vor, ſo ſind dieſelben doch weder in techniſcher Beziehung, noch in Rückſicht auf architektoniſche Anforderungen als beſonders beachtenswert hinzuſtellen.

Behält man im Auge, daſs die Ausmittelung der Diagonalbogen in früheſter

Zeit nicht durch befonderes Aufzeichnen, fondern gleich praktifch bei der Herrichtung der Unterfchalung der Gewölbkappen erfolgt fein wird, fo liefse fich unter der Bedingung, dafs diefe Gratbogen in ihrer Richtung den Diagonalen des Rechteckes folgen follen, zunächft auf der Schalung des gröfseren Tonnengewölbes *II* diefe Richtung, z. B. als *a s*, vorreifsen. Würde man nunmehr fchmale Schalbretter oder Wölblatten, z. B. $q_, p_{,,}$ $u_, v_,$, von der Schnürlinie *a s* für den Diagonalbogen nach dem aufgeftellten, überhöhten Stirnbogen der Seite *a b* in der Weife treten laffen, dafs die Endpunkte *q* und *p*, bezw. *u* und *v* der einzelnen Schallatten für fich eine gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, fo divergieren wohl diefe Latten und ftehen auch mit Ausnahme der Scheitellatte nicht mehr rechtwinkelig zur Stirn-

Fig. 177.



ebene *ab*; aber die Ausführung der Wölbung der Kappen *I* auf diefer Schalung, welche zwifchen ihren Endauflagern noch irgend eine einfache, jedoch hinreichend ftarke Unterftützung erhalten könnte, ift möglich. Unterhalb der Linie *x z*, bezw. *a g* würden alle Schallatten in die Ebene des Diagonalbogens *a s* fallen; mithin mufs in diefer Ebene eine lotrechte Wand $a\,x_{,,}\,z_{,,}$ entftehen. Auch derartige Anordnungen find bei Kreuzgewölben, aus Bruchftein- oder Backfteinmaterial hergerichtet, anzutreffen.

Wie die Ausmittelung der Hauptftücke folcher Kreuzgewölbe im Sinne der darftellenden Geometrie zu erfolgen hätte, ift aus der Abbildung zu entnehmen.

Bei verhältnismäfsig fchmaler rechteckiger Grundfläche mufste die dann bedeutende Ueberhöhung des halbkreisförmigen kleineren Stirn- oder Randbogens bei

dieser Durchbildung der Kreuzgewölbe jedoch in Verbindung mit dem bezeichneten lotrechten Wandstücke in der Ebene des Grat- oder Diagonalbogens sich unangenehm geltend machen sowohl bei der Ausführung der Gewölbe, als auch in Rücksicht auf die architektonische Wirkung derselben.

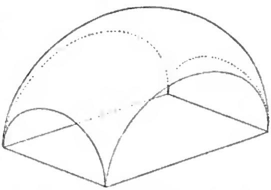
Um diese Uebelstände zu beseitigen, konnte nur eine Umformung der Randbogen der in das halbkreisförmige Haupttonnengewölbe tretenden Gewölbkappen vorgenommen werden. Unter Beibehaltung gleich hoch liegender Scheitellinien der Gewölbkappen und der Richtung der Gratbogen, entsprechend den Diagonalen des Rechteckes, entstand alsdann für die vom Halbkreise des Hauptgewölbes abhängige Wölblinie der eingefügten Gewölbkappen eine halbe Ellipse. Dieselbe ergab sich wiederum durch entsprechendes Auflagern von Schalbrettern, welche, wie *lk* in Fig. 177, rechtwinkelig zur Stirnseite *ab* und in wagrechter Lage nach der vorgerissenen Linie *bs* des Diagonalbogens, auf die Schalung des Hauptgewölbes gebracht wurden.

War die Wölblinie für die lange Seite des Rechteckes ein Halbkreis, so wurde die Wölblinie der schmalen Seite eine halbe sog. überhöhte Ellipse, während umgekehrt bei der Halbkreislinie der kleinen Seite für die lange Seite eine halbe sog. gedrückte Ellipse entstehen mußte. Beide Gewölbarten kommen bei Bauwerken der romanischen Kunst vor.

Wie das Feststellen der Wölblinien und Gratbogen durch Zeichnung zu geschehen hat, ergiebt sich ohne weiteres aus Fig. 177.

Hatte man auch in der sog. Stutzkuppel (Fig. 178) eine Gewölbebildung, welche sich für die Ueberdeckung rechteckiger Räume als äußerst zweckmäßig erwies und wobei auch die Randbogen für die Stirnen als Halbkreise bestehen, so konnte diese Form allein den Anforderungen, welche beim Kreuzgewölbe gemacht wurden, doch nicht genügen. Von eigentlichen, sich besonders auszeichnenden Gratbogen ist auf dieser Wölbfläche an und für sich keine Spur vorhanden. Sollten dieselben gekennzeichnet werden, so mußten, wie auch mehrfach geschehen, solche Bogen als Zierat in die Kugelfläche eingefugt oder auf derselben in irgend einer Weise, z. B. durch Putz angebracht werden. Mit der eigentlichen Konstruktion dieser Gewölbe hängen derartige Gratbildungen nur untergeordnet zusammen.

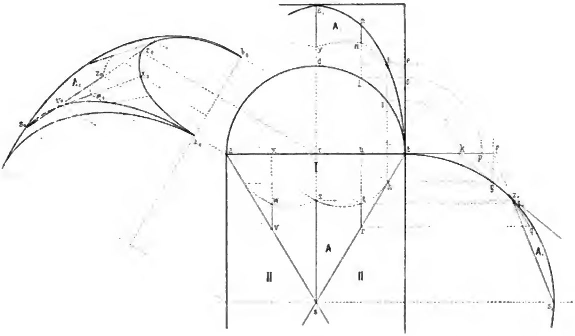
Fig. 178.



Der überhöhte Halbkreis und die Form der sog. überhöhten oder der gedrückten halben Ellipse als Stirnbogen, bezw. als Wölblinien von Kappen der Kreuzgewölbe und endlich die Anwendung der Stutzkuppel für rechteckige Räume entsprachen noch immer nicht den Wünschen, welche man bei der Anwendung von Kreuzgewölben hegte, oder befriedigten auch die besonderen baulichen Bedurfnisse nicht. Beim Festhalten des Halbkreises an sich fur die Wölblinien der Kappen des Kreuzgewölbes ergab sich, daß die Scheitellinie der Wölbkappen der kleineren Rechteckseiten überall keine gerade wagrechte Linie bleiben konnte, welche unmittelbar, wie Fig. 179 in $fs_{,,}$ zeigt, ohne das mit wagrechter Scheitellinie belassene Hauptgewölbe *II* zu durchstoßen, vom Scheitelpunkte *d* des Randbogens der Gewölbkappe *I* nach dem Scheitelpunkte $s_{,,}$ des Kreuzgewölbes zu führen wäre.

Ebenfo würde eine gerade Linie *p q*, welche einer zur Stirnebene *a b* rechtwinkelig ftehenden Ebene angehört, fo lange um *p* nach oben gedreht werden müffen, bis der Endpunkt *q* derfelben in den Diagonalbogen über *b s*, bezw. *a s* gelangt. Die lotrechte Projektion diefes Gratbogens in der Ebene des Stirnbogens *b s,,* deckt fich mit diefem Bogen, und man erkennt, dafs, folange irgend eine vom Randbogen *a d b* nach dem Diagonalbogen geführte gerade Linie, welche in einer zu-

Fig. 179.



gehörigen, rechtwinkelig zu *a b* genommenen Ebene liegt, nicht als Berührende an der Projektion *b s,,* des Gratbogens, bezw. der Stirnlinie der langen Rechtecksfeite auftritt, ein Durchftofsen derfelben mit dem Hauptgewölbe *II* ftattfinden mufs. In der Zeichnung find die Projektionen mehrerer Durchftofspunkte und der fie verbindenden Durchftofslinie eingetragen. Sollte der Lage und Richtung der Linien *f s,,*, *p q* u. f. f. gemäfs die Unterfchalung der Gewölbkappe *I* vorgenommen werden, fo würden fich danach auch praktifch die bezeichneten Durchftofslinien auf der Schalung des Hauptgewölbes ergeben.

Die Einwölbung der Kappe *I* auf einer folchen Unterfchalung würde äufserft bedenklich fein und ein häfsliches Anfehen gewähren. Würde aber die Oberfläche diefer Schalung in eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche durch befonders hergerichtete Unterlagerung oder durch eine Erdfchüttung, wie bereits in Art. 48 (S. 100) erwähnt, umgeftaltet werden, fo würde die Gewölbkappe *I* als eine fphäroidifche Stichkappe mit den cylindrifchen Gewölbkappen zu vereinigen und auszuführen fein. Diefe kugelförmige Gewölbkappe *I* tritt dann als eine fog. »Kappe mit Bufen« oder als »bufige Kappe« auf. Sie nähert fich dem Stücke der Oberfläche einer Stutzkuppel. Sie würde eine Kugelftichkappe fein, wenn, wie fchon beim Kloftergewölbe in Art. 88 (S. 168) näher gezeigt ift, auch die mit dem Halbkreife *a d b*, dem Stirnbogen diefer Kappe, in *a* und *b* zufammentretenden Diagonalbogen ftatt in der Form der Halbellipfen als Halbkreife auftreten würden.

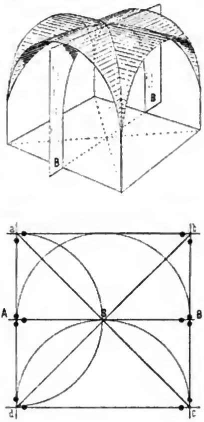
Durch die Einführung der bufigen Kappen bei den Kreuzgewölben ift ein be-

deutſamer Fortſchritt in der Geſtaltung derſelben eingeleitet. Schon die Form der halben Ellipſe als Diagonalbogen war nicht vorteilhaft, und ebenſowenig günſtig für die architektoniſche Wirkung erſchienen bei quadratiſchem Grundplane und halbkreisförmigen Stirnbogen die wagrechten Scheitellinien des Kreuzgewölbes. Konnte man auch durch ein entſprechendes Höherlegen des Scheitelpunktes des Gewölbes und durch ein mäſsiges Anſteigen der Gewölbkappen von den Randbogen aus nach den Diagonalbogen, ſei es durch Auffütterung der Schalung oder durch Erdſchüttung auf derſelben eine leichter erſcheinende Gewölbebildung erzielen, ſo konnte doch bei rechteckiger Grundfläche, wenn nicht wieder auf elliptiſche Randbogen zurückgegriffen werden ſollte, auch das nach dem Scheitel hin ſteigende Kreuzgewölbe nicht entſprechend günſtig geſtaltet werden. Nahm man aber bei derart ſteigenden Gewölben nun bei rechteckigem Plane für ſämtliche zuſammentretende Kappen eine Buſung derſelben in Anſpruch, ſo wurde es gleichgültig, ob die Grundfigur ein Quadrat oder irgend ein Rechteck war.

Berückſichtigt man, welche Wege eingeſchlagen ſind, um Kreuzgewölbe über rechteckigen Räumen herzuſtellen, ſo iſt hier noch die Bildung des ſog. ſechsteiligen Kreuzgewölbes zu erwähnen.

Ein urſprünglich quadratiſcher oder nahezu quadratiſcher gröſserer Plan *a b c d* (Fig. 180) wurde in ſeiner Mitte nach der Richtung *A B* nochmals durch einen Bogen geſchieden, deſſen Form den Randbogen über *a b*, bezw. *c d* entſprach. Derſelbe wurde bis zur Scheitellinie des Kreuzgewölbes übermauert und ſollte ſcheinbar als Stütze der elliptiſchen Diagonalbogen *a c* und *b d* dienen.

Fig. 180.



Durch das Einfügen des ſelbſtändigen Bogens *A B* entſtand aber eine Härte in der Erſcheinung des Gewölbes, welche ſeine Beſeitigung, da derſelbe ohnehin als Stütze ſich ziemlich unbrauchbar erweiſen muſste, wünſchenswert machte.

Legte man daher nach Fig. 181 in die Hauptkappen *G* und *H* des über *a b c d* ſich erſtreckenden Kreuzgewölbes, von den langen Rechtecksſeiten ausgehend, je zwei Nebenkappen, welche die in der Gewölbfläche nicht als beſondere Bogenkonſtruktion ausgeführte Wölblinie über *A B* als gemeinſchaftlichen Randbogen enthielten, ſo ergab ſich hierdurch die Geſtaltung des Kreuzgewölbes mit ſechs Gewölbkappen oder das ſog. ſechsteilige Kreuzgewölbe.

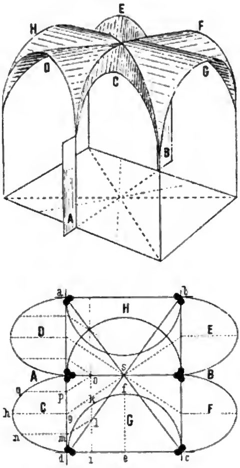
Die hierbei eingefügten Nebenkappen erhielten bei den einfacheren Anlagen elliptiſche Randbogen. Wie dieſelben etwa mit Hilfe von Schallatten *o p* und *l m* feſtgelegt werden konnten, ergiebt ſich aus der Zeichnung. So muſste z. B. *p q*, bezw. *m n* gleich *i k* genommen werden.

Wenngleich die ſechsteiligen Kreuzgewölbe durch Umformung der Diagonal- und Randbogen, ſowie durch Einführung von buſigen Kappen noch bei manchen Bauwerken zur Verwendung gelangten, ſo war dieſe Gewölbebildung doch weit weniger grundlegend für die Weiterentwickelung der

Geſtaltung von Kreuzgewölben über rechteckigen Räumen, als das eigentliche vierteilige Gewölbe mit buſigen Kappen.

Zwar ergab ſich zunächſt auch hierbei, daſs man, wenn alle Randbogen Halbkreiſe bleiben ſollten und wenn ferner an die Stelle der weniger erwünſchten Halbellipſe als Diagonalbogen der zweckmäſsigere Halbkreis gewählt wurde, um dadurch eine erhöhtere Lage des Scheitelpunktes des Gewölbes herbeizuführen, wieder im allgemeinen auf die Form einer gewöhnlichen Stutzkuppel kam.

Fig. 181.



Hierbei verſchwanden alsdann aber die am Gewölbe ſonſt in charakteriſtiſcher Weiſe eine Ecke bildenden Gratbogen. Durch eine mehr oder weniger ſtark eingeführte Buſung der einzelnen Gewölbkappen ſtatt der Fläche der Stutzkuppel war aber ein Mittel geboten, den mit als weſentlich erſcheinenden Charakter des Kreuzgewölbes, eine Eckbildung der zuſammenſchneidenden Gewölbkappen an den Diagonalbogen zu zeigen, aufrecht zu halten.

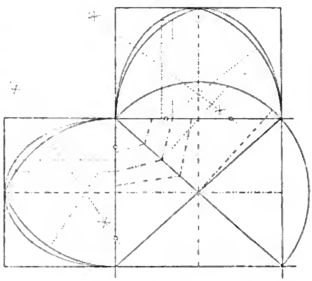
Die Einſchalung der Gewölbe mit buſigen Kappen war läſtig; ebenſo war die Herſtellung der buſigen Gewölbkappen aus gewöhnlichem Bruchſteinmaterial mühſam. Bei dieſem Material iſt längere Zeit hindurch ſtets eine Unterſchalung in Anwendung gekommen. Wenngleich das bei Herrichtung von Kuppelgewölben angezeigte freihändige Mauern ohne Benutzung einer Unterſchalung in ringförmigen Schichten nicht unbekannt geblieben ſein konnte, ſo war dieſe Wölbungsart doch nur in ſolchen Gegenden angezeigt, in welchen Backſteinmaterial oder ein geeigneter, leicht zu bearbeitender Kalkſtein oder Tuffſtein in ausreichender Weiſe vorhanden war. Für Bruchſteinmaterial muſste die Buſung der Kappen in den Hintergrund treten. Um aber die Diagonalbogen in ihrer Halbkreisform zu belaſſen, muſsten die Randbogen wieder als überhöhte Halbkreiſe oder als Halbellipſen eintreten. Dadurch blieben aber die früher erwähnten Uebelſtände bei der Geſtaltung der Kreuzgewölbe beſtehen, und um dieſe zu beſeitigen, dürfte die Einführung des bereits bekannten Spitzbogens als Randbogen ſtatt der geſtelzten Halbkreiſe oder der halben Ellipſen eine Folge geweſen ſein.

Bei quadratiſchem oder nahezu quadratiſchem Grundriſs bleiben die Randbogen, deren Scheitel mit dem Scheitelpunkt der halbkreisförmigen Diagonalbogen in gleicher Höhe liegen, nach Fig. 182 noch ziemlich ſtumpfe Spitzbogen.

Wurden in der Richtung der Diagonalen ſtützende Lehrgerüſte aufgeſtellt, wurde gleichfalls für die Gewölbkappen unter weiterer Heranziehung der Unterſtützung der Randbogen, ſowie einiger einfacher Zwiſchengerüſte eine genügend unterlagerte Schalung geſchaffen, ſo konnten auch aus Bruchſtein herzuſtellende Kappen leicht ausgeführt werden. Zunächſt fehlte dieſen Gewölben die Buſung. In

ſtatiſcher Beziehung übertrafen dieſelben jedoch die Kreuzgewölbe, deren Randbogen geſtelzte Halbkreiſe oder Halbellipſen waren, da bei der Spitzbogenform der Stirnbogen eine Verminderung des Seitenſchubes zum Vorteil der ſtützenden Eckpfeiler des Gewölbes entſtand.

Fig. 182.



Bei rechteckiger Grundform von geringer Breite und gröſserer Länge wurde der Spitzbogen der ſchmalen Seite reichlich ſteil, ſobald ſein Scheitel eine gleiche Höhenlage mit dem Gewölbſcheitel erhalten ſollte.

Um dieſe lanzettartige Form eines ſolchen Spitzbogens im allgemeinen nicht eintreten zu laſſen, muſste entweder ein entſprechend gewählter ſtumpfer Spitzbogen in ſeinen Fuſspunkten lotrecht gehoben, alſo wiederum geſtelzt werden, oder die Gewölbkappen muſsten bei einem feſtgeſetzten ſtumpferen Spitzbogen, deſſen Scheitel tiefer blieb als der Gewölbſcheitel, als ſteigende Kappen angeordnet ſein, bezw. wieder mit Buſung ausgeführt werden.

Da der Verband der aus Bruchſtein zu wölbenden Kappen über den Diagonalbogen nur ein wenig inniger ſein und nicht frei von Mängeln bleiben konnte, ſo legte man zur Beſeitigung der Unvollkommenheiten in der Ausführung des Gratbogenverbandes beſondere Hauſteinſtücke für die Diagonalbogen ein, welche dann als weſentliche Faktoren des Kreuzgewölbes in der Geſtalt von Rippen, im Anfang weniger reich, ſpäter mannigfaltiger, an ihrem vorſpringenden Teile gegliedert auftreten.

Durch die Aufnahme derartiger Rippen an Stelle der einfachen Randbogen, als ſelbſtändige Beſtandteile des Kreuzgewölbes oder als ſeitliche Begrenzungen zuſammengereihter Kreuzgewölbe, wobei alsdann die Rippen der Randbogen als Scheide- oder Gurtbogen durchgebildet werden konnten, trat in Vereinigung mit den Diagonalrippen ein vollſtändiger Umſchwung in der Formbildung und Geſtaltung der Kreuzgewölbe ein.

Das Rippenſyſtem iſt zum vorwiegenden Beſtandteil des Kreuzgewölbes erhoben. Dasſelbe bildet die Trag- und Stützkonſtruktion für die dazwiſchen liegenden Kappen, während die geſamte Belaſtung der Ueberdeckung auf einzelne beſtimmte Punkte, d. h. auf Pfeiler- oder Säulengebilde übertragen wird.

Dieſe erweiterte Ausbildung des älteren romaniſchen Kreuzgewölbes führte zur Entwickelung des gotiſchen Kreuzgewölbes.

118. Gotiſches Kreuzgewölbe

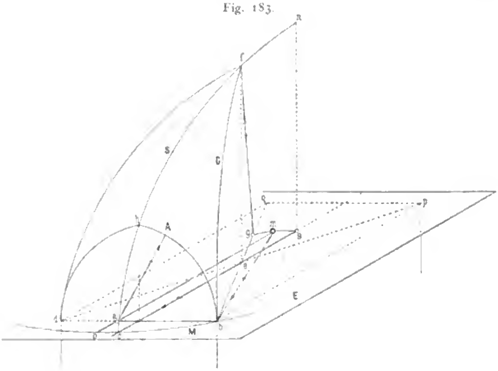
Mit der Einführung des Rippenſyſtems ging Hand in Hand die Vervollkommnung der Ausmauerung der von den Rippen begrenzten und getragenen Kappen, ſowie der Technik der Wölbkunſt überhaupt. Die Rippen konnten als die eigentlichen Träger des Gewölbes für ſich hergeſtellt werden. War der günſtige Spitzbogen für die Rippen der Randbogen einmal in Aufnahme gekommen, ſo konnte derſelbe auch für die Diagonal- oder Kreuzrippen mit mehr oder weniger gehobenem Scheitelpunkte ſtatt ihrer früheren Halbkreisform Benutzung finden. Die Kappenwölbung konnte zwiſchen dieſen Rippen eine weit geringere Stärke erhalten als bei

den früheren Wölbungsarten. Die Schichtenlagen, anfänglich wohl noch der Längsachse der Kappe folgend, konnten rechtwinkelig zur Diagonalrippe geführt und dabei, mit entsprechender Busung versehen, als einzelne Gewölbstreifen eingefügt werden.

Im letzteren Falle konnten diese busigen Kappen reinen Kugelflächen oder, wie bei etwa gestelzten Stirnbogenrippen, kugelförmigen (sphäroidischen) Flächen angehören.

Ist z. B. *b d q p* in Fig. 183 die rechteckige Grundfläche eines Kreuzgewölbes, dessen Scheitelpunkt *f* über dem Schnittpunkte *e* der Diagonalen *b q* und *d p* liegt, so möge *b h d* der aus zwei Kreisbogen bestehende Spitzbogen der Seite *b d*, sowie *b f* der halbe, gleichfalls nach einem Kreisbogen gebildete Diagonalbogen über *b e* sein. Die beiden Kreisbogen *b h* als *A* und *b f* als *G* erheben sich vom gemeinschaftlichen Punkte *b* aus über der wagrechten Kämpferebene *E*. Die Mittelpunkte *a* für *A* und *g* für *G* sind in *b d*, bezw. *b q* gleichfalls in dieser Ebene *E* gelegen. Beide Kreisbogen gehören einer Kugelfläche

Fig. 183.



an, deren Mittelpunkt *m* in der Ebene *E* enthalten ist, und von welcher ein gröſster Kreis *M* durch den gemeinschaftlichen Schnittpunkt *b* der Kreisbogen *A* und *G* gehen muſs. Um den Mittelpunkt *m* zu bestimmen, sind in *g* auf *b q* und in *a* auf *b d* in der Ebene *E* Lote zu errichten. Dieselben schneiden sich im gesuchten Punkt *m*. Die Gerade *m b* liefert den Halbmesser der Kugelfläche, welcher die Bogen *A* und *G* angehören. Der um *m* mit *m b* beschriebene Kreis *M* ist ein gröſster Kreis dieser Kugelfläche. Hätte man in ganz ähnlicher Weise auch für die beiden Kreisbogen *d h* und *d f* die Kugelfläche bestimmt, welche im vorliegenden Falle denselben Halbmesser, wie die erste Kugelfläche, und ferner einen durch *d* gehenden gröſsten Kreis besitzt, so schnitten sich beide Kugelflächen in der Scheitellinie *h f* der Gewölbkappe *b f d*. Diese Scheitellinie *h f* gehört als Schnittlinie der gleichen und symmetrisch gelegenen Kugelflächen einem Kreisbogen *S* an, welcher durch den Scheitelpunkt *h* des Spitzbogens *b h d* und den Scheitelpunkt *f* des Gewölbes geht. Die lotrechte Ebene dieses Kreisbogens trifft die Ebene *E* in der Geraden *c e*, d. h. in der wagrechten Projektion der Scheitellinie der Gewölbkappe *b f d*. Auf dieser erweitert genommenen Geraden ist der Mittelpunkt *s* für den Kreisbogen *S* als Schnittpunkt des von *m* auf *c s* gefällten Lotes zu bestimmen. Der Schnittpunkt *c* der Linie *c s* mit dem gröſsten Kreise *M* ist der Endpunkt des Halbmessers *s c* des Kreisbogens *S*. Dem angegebenen Wege folgend, hätte man auch beim Festlegen der Spitzbogen der Seiten *b p* und *d p*, bezw. *p q* die Ausmittelung der zugehörigen Kugelflächen vornehmen können.

Die Ausführung der einzelnen Kappen in ringförmigen Streifen der ihnen angewiesenen Kugelflächen ist leicht zu bewirken und kann freihändig ohne eine

Unterfchalung erfolgen. Jede Kappe erhält dann ohne weiteres eine den ermittelten Kugelflächen entfprechende Bufung. Sind die Randbogen geftelzt, während die Diagonalbogen nicht geftelzt find, fo liegen die Mittelpunkte der benutzten Kreisbogen in verfchiedenen Ebenen. Die Gewölbkappen erhalten dann als Laibungsflächen nicht mehr die reinen Kugelflächen, fondern kugelförmige Flächen, welche aber bei nicht zu bedeutender Stelzung der Randbogen doch nicht fehr erheblich von der Kugelfläche abweichen.

Das Rippenfyftem mit feinen bufigen Kappen und die Verwertung des Spitzbogens bei der Formgeftaltung der Rippen befeitigte alle Einengungen in der Bildung der Kreuzgewölbe, welche beim römifchen und beim romanifchen Kreuzgewölbe fich noch geltend gemacht hatten.

Wie auch die zu überdeckenden Raumabteilungen oder Gewölbfelder in ihrer Grundrifsform befchaffen fein mochten, regelmäfsig oder unregelmäfsig, das gotifche Kreuzgewölbe geftattete bei einer ausgiebigen Freiheit in der Behandlung eine zweckmäfsige Anordnung und eine gediegene Ausführung der geplanten Wölbung. Zur Einfchränkung der Gröfse der Gewölbkappen, zur Herbeiführung einer mäfsigen Stärke derfelben und zur Erzielung einer reicheren Entfaltung des Kreuzgewölbes konnte das tragende Rippenfyftem vervielfältigt werden. Gefetzmäfsig geordnet, führte dasfelbe auf das fechsteilige, acht- oder mehrteilige Kreuzgewölbe. Traten die einzelnen, in gröfserer Anzahl vorhandenen Rippen in ihrem Grundrifs fternartig geordnet zufammen, fo bildete fich das fog. Sterngewölbe. Durchfchnitten fich die vielfachen Rippen netzartig, zwifchen fich eine Menge Mafchen oder Zellen laffend, welche nunmehr nicht befondere Teile eines gewöhnlichen cylindrifchen Tonnengewölbes, wie in Fig. 32 (S. 24) bildeten, fondern in geeigneter Weife mit bufigen Kappen, welche fich gegen die umrahmenden Rippenftücke legten, gefchloffen wurden, fo entftand das fog. Netzgewölbe.

Alle diefe Wölbungen zeigen während ihrer Entwickelung und Anwendung die gröfste Mannigfaltigkeit und einen bedeutenden Reichtum in der Anordnung ihrer Rippenfyfteme. Die Sucht nach immer reicheren Formen in der Geftaltung diefer Gewölbe führte zu den üppigften, ja zuweilen phantaftifchften Durchbildungen, die, wenn auch in mancher Beziehung überrafchend und lehrreich, doch zuweilen äufserft willkürlich erfcheinen mufsten.

Trotz des Aufwandes von vielem Fleifs und grofser Kunftfertigkeit wurde die Harmonie derartiger Gewölbanlagen, welche der Spätzeit der Gotik angehören, doch ftark beeinträchtigt.

Die Kreuzgewölbe, diefe wichtigen und hervorragenden Gewölbbildungen des romanifchen und des gotifchen Bauftils, laffen fich nach dem Vorhergegangenen, um für die in der Jetztzeit zu fchaffenden Kreuzgewölbe die Konftruktionen überfichtlich befprechen zu können, in zwei Hauptgruppen zerlegen:

1) in Kreuzgewölbe mit vorwiegend cylindrifchen Gewölbkappen oder die cylindrifchen Kreuzgewölbe, wie folche beim römifchen und beim älteren romanifchen Gewölbe vorhanden waren, und

2) in Kreuzgewölbe mit Rippenfyftem und dazwifchen gewölbten Kappen, welche das eigentliche gotifche Kreuzgewölbe bilden.

Beide Gewölbarten follen in ihrer befonderen Konftruktion im folgenden näher behandelt werden.

16. Kapitel.

Kreuzgewölbe im befonderen.

a) Cylindrifche Kreuzgewölbe.

1) Geftaltung der cylindrifchen Kreuzgewölbe.

Die Geftaltung der cylindrifchen Kreuzgewölbe ift in den allgemeinen Grundzügen in Art. 116 (S. 199), bezw. Art. 117 (S. 201) befprochen und in Fig. 174 bis 177 veranfchaulicht worden. 119. Geftaltung.

Bei diefen Gewölben ift im befonderen, foweit eine einfachere Geftaltung derfelben berückfichtigt wird, zu bemerken, dafs

α) die Anzahl der Gewölbkappen der Seitenzahl des Grundriffes des zu überwölbenden Raumes entfpricht;

β) die Stirnbogen oder Leitlinien diefer Kappen in der Regel fämtlich eine gleiche Pfeilhöhe erhalten;

γ) die Achfen der Kappen gerade Linien find, welche fämtlich in der wagrechten Kämpferebene liegen und, von den Mitten der wagrechten Projektionen der Stirnbogen auslaufend, fich in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Grundrifsfigur des Gewölbes fchneiden; diefer gemeinfchaftliche Punkt ift die wagrechte Projektion des Gewölbefcheitels; meiftens fällt derfelbe mit dem Schwerpunkte der Grundrifsfigur zufammen;

δ) die wagrechten Projektionen der Schnitt- oder Durchdringungslinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen gerade Linien find, welche von den Ecken der Grundrifsfigur nach der wagrechten Projektion des Gewölbefcheitels gezogen werden können; diefe Schnittlinien liefern die Diagonalbogen, Gratlinien oder Grate des Kreuzgewölbes;

ε) die an den Ecken der Grundrifsfigur zufammentretenden Stirn- und Gratlinien des Gewölbes ihren Gewölbefufs in der wagrechten Kämpferebene erhalten;

ζ) die Scheitellinien der Gewölbkappen gerade Linien find, welche vom Scheitelpunkte der Stirnbogen nach dem Scheitelpunkte des ganzen Gewölbes zu ziehen find; diefe geraden Linien find entweder wagrecht oder nach dem Gewölbefcheitel auffteigend; im letzteren Falle ift derfelbe höher liegend angenommen als die Scheitelpunkte der Stirnbogen, fo dafs hierdurch das cylindrifche Kreuzgewölbe mit »Stechung« oder mit »Stich« entfteht.

Die Grundrifsfigur eines cylindrifchen Kreuzgewölbes kann irgend eine ebene geradlinige, unter Umftänden auch eine gemifchtlinige, alfo hierbei eine von geraden und krummen Linien begrenzte Figur fein.

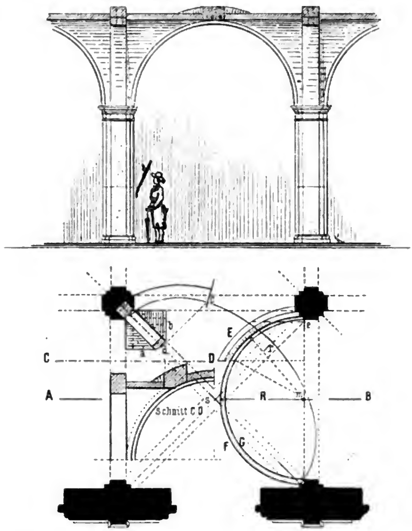
Je nachdem die Grundrifsfigur des Kreuzgewölbes regelmäfsig oder unregelmäfsig gebildet ift, unterfcheidet man auch regelmäfsige und unregelmäfsige Kreuzgewölbe.

Werden die Umfangsmauern des Raumes, welche famtlich als Stirnmauern des Kreuzgewölbes auftreten, den Rand- oder Stirnbogen entfprechend durch Gurtbogen offen gehalten, welche ihr Widerlager an befonderen Eckpfeilern des Raumes erhalten, fo entfteht das offene Kreuzgewölbe. Sind die Stirnmauern, abgefehen von darin befindlichen Thür- oder Lichtöffnungen, als eigentliche Umfangsmauern angeordnet, fo erhält man das gefchloffene Kreuzgewölbe.

Ift die Kämpferebene eines Kreuzgewölbes, z. B. bei Treppenanlagen, eine geneigte Ebene, fo entfteht das anfteigende Kreuzgewölbe. Sind die Wölblinien der Gewölbkappen flache, gefetzmäfsig gebildete ebene krumme Linien, fo entwickelt fich das flachbogige oder flache Kreuzgewölbe, auch Kreuzkappengewölbe genannt.

So mannigfach die Geftaltung des Kreuzgewölbes im Zufammenhange mit der Form feines Grundriffes und den grundlegenden Wölblinien der cylindrifchen Gewölbkappen auch vorgenommen werden kann, fo bleibt doch immerhin die eigentliche Ausmittelung der Hauptbeftandteile des Kreuzgewölbes, d. h. der Stirnlinien und der Gratlinien, verhältnismäfsig einfach.

Fig. 184.

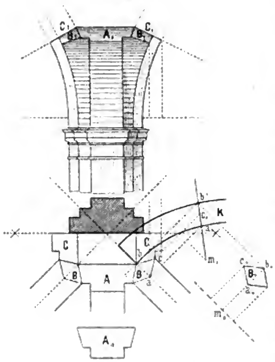


120.
Darftellung des Kreuzgewölbes.

Am leichteften find die Ausmittelungen bei einem cylindrifchen Kreuzgewölbe über einem quadratifchen Raume zu fchaffen. Ein derartiges Kreuzgewölbe zeigt Fig. 184.

Die Stirnlinien, bezw. die Wölblinien der vier zufammenfchneidenden Gewölbkappen mit fich rechtwinkelig in *s*, dem Schnittpunkte der Diagonalen des quadratifchen Grundriffes, treffenden Achfen, find durch den mit *R* um *m* befchriebenen Halbkreis *F* beftimmt. Bei der wagrechten Lage der Scheitellinien der fämtlichen Gewölbkappen ergiebt fich die Form der Gratlinien über den Diagonalen des Raumes ohne Schwierigkeit je als eine halbe Ellipfe *E* mit der grofsen Achfe gleich der wagrechten Projektion der Gratlinie und der halben kleinen Achfe gleich dem Halbmeffer *R* der Stirnlinien. Die Gurtbogen des hier gegebenen offenen Kreuzgewölbes find ebenfalls Halbkreife. Diefelben find mit dem Halbmeffer *me* befchrieben, welcher um fo viel kleiner als *R* genommen ift, wie folches der Vorfprung der Vorlage

Fig. 185.



innerhalb der Gurtbogenweite an den Widerlagspfeilern des Kreuzgewölbes bedingt.

Nach Feſtlegen dieſer Beſtimmungsſtücke laſſen ſich, wie aus der Zeichnung hervorgeht, noch die Anſätze a, b der Gewölbkappe am Gratkörper d und ebenſo die Darſtellungen der Schnitte nach AB, bezw. CD leicht ermitteln.

Auch die Anordnung des Anſatzes der Körper der Gurt-, bezw. Stirnbogen und der Gratbogen am Widerlagspfeiler ergiebt ſich nach Fig. 185 unter Anwendung einfachſter Sätze der darſtellenden Geometrie ohne Schwierigkeit. Die Anſatzflächen A, C der Gurt- und Stirnbogen, ſowie B des Grates gehören Normalebenen an. Für den Grat K iſt eine ſolche Ebene durch die Spur m, b, gekennzeichnet. Für die Gurt- und Stirnbogen iſt die zugehörige Normalebene ſo geführt, daſs die Schnittlinie derſelben am Rücken dieſer Bogen für die Flächen C, wie aus der Anſicht bei C, hervorgeht, dieſelbe Höhenlage wie der Punkt b, am Gratbogen erhält. Wird das ganze Anſatzſtück als ein beſonderes Werkſtück angefertigt, ſo ergiebt ſich ein ſog. Anfänger des Kreuzgewölbes. Die Brettungen $A_{,,}$, $B_{,,}$ für die Anſätze der vom Anfänger ausgehenden Gurtbogen, bezw. Gratbogen laſſen ſich nach den Angaben der Zeichnung austragen.

Hätte der zu überwölbende Raum einen rechteckigen Grundriſs erhalten, ſo müſste die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach Fig. 177 (S. 203) erfolgen.

Wählt man bei quadratiſchen oder rechteckigen Grundriſſen von vornherein halbe Ellipſen als Stirnbogen, deren Pfeilhöhen gleich ſind, ſo ergeben ſich für die Gewölbkappen elliptiſche Cylinderflachen als Laibungsflächen. Die Gratlinie iſt, wie Fig. 186 ergiebt, wiederum eine halbe Ellipſe.

Fig. 186.

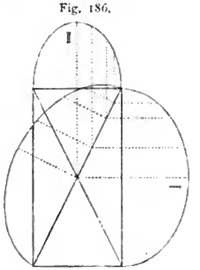
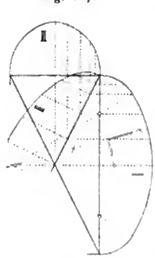


Fig. 187.



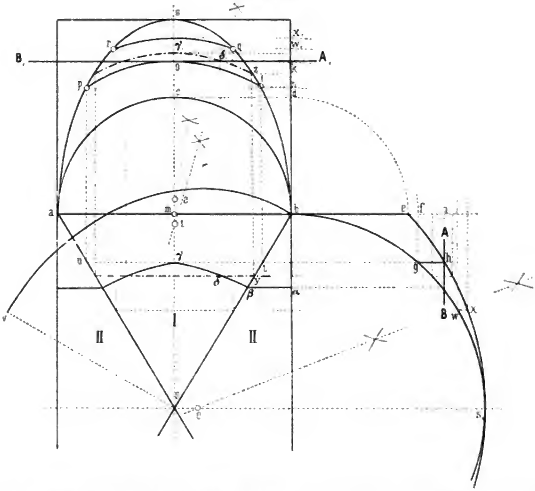
In ganz ähnlicher Weiſe würde man auch irgend eine andere geſetzmäſsig gebildete Kurve, z. B. einen Korbbogen I (Fig. 187), als Stirnbogen für eine Seite der Grundfigur annehmen können und, unter Benutzung desſelben als Grundbogen, den Stirnbogen III und den Gratbogen II auszutragen haben. In allen dieſen Fällen bleiben die Gewölbflächen allgemein immer cylindriſche Flächen, deren höchſte Erzeugende als Scheitellinien des Gewölbes gerade und wagrechte Linien ſind.

Kann bei quadratiſchem Grundriſs jeder Stirnbogen als Halbkreis auftreten und iſt danach beim ganzen Gewölbe die Durchführung gleicher cylindriſcher Gewölbflächen möglich, ſo iſt bei einem rechteckigen Grundriſs jedoch, ſobald aus architektoniſchen Gründen die Forderung geſtellt wird, daſs bei Stirnbogen für die 121. Umgeſtaltung der cylindriſchen Kreuzgewölbe.

lange Seite des Rechteckes fowohl, als auch für die fchmale Seite desfelben ein Halbkreis verbleiben foll, eine Umgeftaltung des cylindrifchen Kreuzgewölbes erforderlich. Auf diefen Punkt ift bereits in Art. 117 (S. 205) bei Fig. 179 hingewiefen. Hier foll die Umgeftaltung derartiger Kreuzgewölbe unter Benutzung von Fig. 188 im befonderen behandelt werden.

Bei dem zur Hälfte gezeichneten rechteckigen Grundrifs find die Stirnbogen als Halbkreife feftgelegt. Aufserdem ift vorgefchrieben, dafs die Laibungsflächen

Fig. 188.



der am weiteften gefpannten Gewölbkappen *II* cylindrifche Gewölbflächen mit wagrecht liegenden Scheitellinien fein follen. Wie bei Fig. 179 (S. 205) erwähnt, wird die Scheitellinie der Gewölbkappe *I* im allgemeinen nicht als eine gerade Linie auftreten, welche unmittelbar vom Scheitelpunkte des kleinen Stirnbogens über *a b* nach dem Scheitel des Gewölbes über *s* auffteigen könnte. Aus diefem Grunde kann man als zweckmäfsig die Scheitellinie über *m s* als einen Kreisbogen $e s_{,,}$ annehmen, deffen Mittelpunkt *c* im Schnittpunkt des auf der Mitte einer Sehne $e s_{,,}$ errichteten Lotes mit der durch $s_{,,}$ gezogenen Senkrechten liegt.

Wie aus der Zeichnung zu erfehen, ift *b e* die lotrechte Projektion der Pfeilhöhe des kleinen Randbogens, $s_{,,}$ die Projektion des Scheitelpunktes des grofsen Stirnbogens und zugleich des Scheitelpunktes des Gewölbes felbft. Der Gratbogen *b r* über *b s*, bezw. über *a s* wird unmittelbar nach dem Grundbogen $b s_{,,}$ als Viertelellipfe gefunden. In der lotrechten Projektion $b s_{,,}$ decken fich Randbogen und Gratbogen als einer und derfelben vorhin beftimmten cylindrifchen Fläche angehörend. Für die Erzeugung der Laibungsfläche der Gewölbkappe *I* kann nunmehr der folgende Weg eingefchlagen werden.

Schneidet man die Gewölbfläche *I* durch eine lotrechte, parallel zu *a b* ftehende Ebene *u t*, fo wird

die lotrechte Projektion $b s_{,,}$ der Gratbogen $b s$ und $a s$ in g und die lotrechte Projektion $e s_{,,}$ der Scheitellinie in h von diefer Ebene gefchnitten. Die hier gewonnene Schnittlinie $g h$ fei die lotrechte Projektion eines Kreisbogens, welcher in der Ebene $u t$ als Erzeugende der Gewölbfläche I auftreten foll. Zieht man durch g und h die wagrechten Linien $g f$, bezw. $h i$, trägt man $b n = b f$ und $b k = b i$ in der lotrechten Projektion des Gewölbes über der Seite $a b$ ab, fo fchneidet eine durch n geführte wagrechte Linie die lotrechten Projektionen $a s_,$ und $b s_,$ der Gratbogen in den Punkten p und l, während eine durch k geführte wagrechte Linie $A_1 B_1$ die lotrechte Projektion $c s_,$ der Scheitellinie der Gewölbkappe I im Punkte o trifft. Der durch die erhaltenen drei Punkte p, l und o beftimmte Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in t auf $s_, t$ liegt, ift eine Erzeugende der Gewölbfläche I. In gleicher Weife ift auch für eine Ebene $w x$ der erzeugende Kreisbogen $q r$ mit dem Mittelpunkte z gefunden.

Die Gewölbfläche I wird hiernach eine kugelförmige (fphäroidifche) Fläche.

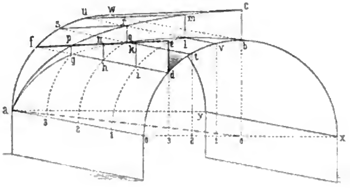
Ein wagrecht geführter Schnitt $A B$, bezw. $A_1 B_1$ liefert die Schnittlinie $\alpha \beta \gamma$ u. f. f. Hiervon gehört die gerade Strecke $\alpha \beta$ der geraden Cylinderfläche II an, während die Kurve $\beta \gamma$ der fphäroidifchen Gewölbfläche I zukommt. Ein Punkt ζ diefer Kurve liegt im Durchftofspunkte eines erzeugenden Kreisbogens z mit der Geraden $A_1 B_1$, wobei gleichzeitig diefer Kreisbogen der lotrechten Ebene y angehört.

Bei diefer Anordnung der Gewölbflächen ift der Scheitelpunkt des Gewölbes in Bezug auf den höchften Punkt des Randbogens der Gewölbkappen I um ein Mafs $c s_,$ höher gelegt. Man bezeichnet diefes Anfteigen der Gewölbkappen, wie bereits gefagt, mit dem Namen Stechung oder Stich. Für die Kappen II tritt hier keine Stechung auf. 122. Kreuzgewölbe mit Stechung.

Das Mafs für die Höhe der Stechung kann nach Wunfch mehr oder weniger bedeutend genommen werden, je nachdem der Scheitel des Kreuzgewölbes in Bezug auf die Scheitelpunkte der Stirnbogen desfelben mehr oder weniger gehoben erfcheinen foll. Ein ungefähres Mafs diefer Stichhöhe ift $^1/_{20}$ bis $^1/_{30}$ der ganzen Weite des gröfsten Gratbogens.

Bei den einfachen cylindrifchen Kreuzgewölben, gleichgültig, welche Grundrifsform dabei vorliegt, kann man aber jeder Gewölbkappe eine Stechung geben. Dabei nimmt man in der Regel, ausgehend von einem einzigen Stirnbogen, die Pfeilhöhen fämtlicher Stirnbogen gleich und geftaltet diefe Stirnbogen vollftändig abhängig vom gewählten Grundbogen. Die Erzeugenden der Gewölbflächen find von den Stirnbogen aus anfteigende gerade Linien, welche von entfprechend liegenden Punkten der Stirnbogen auslaufen. Diefe Linien liegen in lotrechten Ebenen, welche für jede Kappe parallel der Kappenachfe ftehen. Sie fchneiden fich in entfprechenden Punkten der Gratbogen von je zwei zufammentreffenden Kappen. Die höchften diefer erzeugenden Linien find die anfteigenden Scheitellinien der Kappen. Sie endigen fämtlich im Scheitelpunkte des nunmehr durchweg mit Stechung verfehenen Kreuzgewölbes. Bei diefer Umformung der Gewölbflächen bleibt bei der beftimmt vorgefchriebenen Abhängigkeit der Stirnbogen und weiter auch der Gratbogen das Wefen der cylindrifchen Kreuzgewölbe noch gewahrt.

Fig. 189.

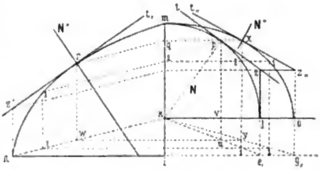


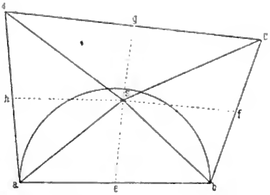
Ift $o a y x$ in Fig. 189 der Grundrifs der halbkreisförmigen geraden Cylinderfläche mit dem Stirnbogen $a w y$, bezw. $o b x$ und fchneidet man diefe Fläche durch die lotrechte Ebene $a o b$, fo ergiebt fich

als Schnittlinie die Viertelellipse *a g q l b*. Dieselbe kann als Gratlinie an einer halbkreisförmigen Kappe eines Kreuzgewölbes ohne Stechung angesehen werden.

Die höchste Erzeugende oder die Scheitellinie dieser Kappe würde die wagrechte Linie *w b* sein. Soll nun der Punkt *b* um eine Höhe *b c* gehoben werden, so nimmt die Scheitellinie die Lage *w c* an. Teilt man den Halbmesser *o o* in beliebig viele gleiche Teile, z. B. hier in vier Strecken, ein und legt man durch diese Teilpunkte *1*, *2*, *3* lotrechte, zur Achse der Cylinderfläche parallel stehende Ebenen, so erhält man die wagrechten Erzeugenden *u v*, *s t*, *f d* als Schnittlinien auf der Cylinderfläche. Läfst man nun wiederum jede dieser Erzeugenden, z. B. *f d*, für den Punkt *d* um die Höhe *d e* gleich der für *w b* festgesetzten Höhe *b c* heben, so ist *f e* eine Erzeugende der mit Stechung behafteten neuen Cylinderfläche. Die Ebene *a o b* schneidet, gehörig erweitert, diese neue Cylinderfläche in einem Ellipsenstücke *a p r m c*. Einzelne Punkte dieser Kurve lassen sich leicht bestimmen. Teilt man *o a* ebenfalls in so viele gleiche Teile ein, als für *o o* genommen waren, also hier in vier Strecken, und legt man durch diese Teilpunkte lotrechte, mit der Stirnebene *o b x* parallel stehende Ebenen, so wird die ursprüngliche Cylinderfläche nach Halbkreisen geschnitten, welche die Viertelellipse *a b* der Reihe nach in den Punkten *g*, *q* und *l* treffen, während die Halbkreise *3*, *2* und *1* z. B. die Erzeugende *f d* in den Punkten *g*, *h* und *i* schneiden. Entsprechend der ansteigenden Erzeugenden *f e*, bezw. *w e* der neuen Cylinderfläche mufs der Punkt *g* der Ebenen *3* und *3* um *g p*, der Punkt *q* der Ebenen *2* und *2* um *q r* = *h n* und der Punkt *l* der Ebenen *1* und *1* um *l m* = *i k* gehoben werden, um den proportionalen Teilungen der Strecken *o o* und *o a* entsprechend auch proportionale Höhen des Stechungsmafses *d e*, bezw. *b c* für die neue Schnittlinie *a c*, bezw. für die Erzeugenden der neuen Cylinderflächen zu erhalten. Derartige Erzeugende sind *f p*, *s r*, *u m* und *w c*.

Fig. 190.





Bei cylindrischen Kreuzgewölben mit Stechung über einem unregelmäfsigen Grundrifs erfolgt die Ausmittelung der Stirn- und Gratbogen nach dem gewählten Grundbogen gleichfalls in der eben beschriebenen Weise. Man kann sich dabei des in Fig. 190 benutzten Verfahrens bedienen.

Das unregelmäfsige Viereck *a b c d* sei der Grundrifs eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung. Der Schwerpunkt *s* des Viereckes ist die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes. Die von *s* nach den Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gezogenen geraden Linien sind die wagrechten Projektionen der Gratbogen. Für eine Seite *a b*, deren Länge etwa der durchschnittlichen Länge von allen vier Seiten entspricht, ist der Grundbogen des Kreuzgewölbes als Halbkreis angenommen. Die Achsen *s e*, *s f*, *s g* und *s h* der Gewölbkappen sind gerade Linien, welche von *s* nach den Mitten der Seiten gezogen wurden.

Das Mafs der Stechung sei gegeben und gleich *i k*. Soll nun z. B. der Gratbogen über *c s* und ein Stirnbogen für die Seite *c d* ausgetragen werden, so zeichne man das rechtwinkelige Achsenkreuz *m i*, *k o*, wobei die Lotrechte *m k* gleich dem Halbmesser *e a* des Grundbogens für die Seite *a b*, die Strecke *k i* gleich der gegebenen Stechung ist. Mit *k m* = *e a* beschreibe man den Viertelkreis *m l*; alsdann erhält man die Hälfte des Grundbogens. Durch *i* ziehe man eine wagrechte Linie $n g_1$, nehme *i n* = *s c* gleich der Weite des gesuchten Gratbogens über *c s*, und $i e_1$ = *k l* = *k m* gleich dem Halbmesser des Grundbogens. Zieht man $k e_1$ und *k n*, so lassen sich mit Hilfe des Dreieckes $n k e_1$ leicht die proportionalen Teilungen für den Grund- und Gratbogen, sowie für die Stechungshöhe ermitteln.

Zieht man ganz beliebig die Linie *w u* parallel zu $n e_1$, so wird *k n* in *w* und $k e_1$ in *u* geschnitten. Führt man durch diese Punkte parallele Linien zu *k m*, so trifft der Strahl *u p* den hier nur zur Hälfte

gezeichneten Grundbogen ml im Punkte p. Führt man durch p die Gerade pq parallel zu ne, und durch den auf km gelegenen Punkt q eine Parallele qr zu kn, fo ift der Schnitt r diefes Strahles mit wr ein Gratbogenpunkt.

Ein in gleicher Weife geführter Linienzug $s \ldots s$ liefert den Gratbogenpunkt s u. f. f.

Nach der Zeichnung ift $vp = wr$. Wäre keine Stechung vorhanden, fo würde der Punkt r nur um das Mafs wr, bezw. vp über der wagrechten Linie (Kämpferlinie) ni liegen. Beim Vorhandenfein der Stechung ift aber die Strecke wr um dasfelbe Mafs zu vermehren, als die wagrechte Linie wu, von welcher der Punkt r abhängig ift, über der Linie ni fich erhebt. Im Punkte n ift die Stechungshöhe gleich Null; im Punkte i ift diefelbe gleich ik. Proportionale Teilungen der Strecken kn und ke, durch die Strahlen wu, ss u. f. f. liefern auch proportionale Stechungshöhen.

Für den Stirnbogen der Seite ed ift nur die Austragung feiner Hälfte notwendig, da hiernach die andere Hälfte desfelben leicht hinzugefügt werden kann. Da für diefen Bogen keine Stechung, fondern nur eine proportionale Teilung feiner Weite in Frage kommt, fo wird zunächft $ko = ig$, $= eg$ abgetragen und die Linie kg, gezogen. Der verlängerte Strahl wu fchneidet kg, in y. Die Lotrechte yx wird von der verlängerten Geraden qp, wobei p dem Schnitt der Geraden wu mit ke, entfpricht, im Punkte x des gefuchten halben Stirnbogens mo getroffen. In gleicher Weife ift für den Punkt s u. f. f. diefes Stirnbogens zu verfahren. Will man für die Punkte r und x, welche vom Punkte p des Grundbogens abhängig find, die Normale $N_,$, bezw. $N_{,,}$ feftlegen, fo führt man in p die Tangente tz an den Bogen ml. Diefe Tangente trifft das in l auf kl errichtete Lot in der Höhe lz. Trägt man auf den Lotrechten $nz_,$ und $oz_{,,}$ diefe Höhe ab, fo dafs $nz_, = oz_{,,} = lz$ ift, zieht man alsdann die Strahlen $z_,t_,$ durch r und $z_{,,}t_{,,}$ durch x, fo find diefelben Tangenten in den Elementen r und x der zugehörigen Grat-, bezw. Stirnlinie. Die in r und x auf $z_,t_,$, bezw. $z_{,,}t_{,,}$ errichteten Lote find die gefuchten Normalen in diefen Elementen. Nach diefen Angaben find in einem und demfelben Plane fämtliche Grat- und Stirnbogen eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung ohne Schwierigkeit zufammenzutragen.

Bemerkt fei noch, dafs beim Halbkreife als Grundbogen der hiervon abhängig gemachte Gratbogen einer Ellipfe angehört, wofür bei der gewählten Stechung ik die Geraden kn und km halbe konjugierte Durchmeffer find. Die reellen Achfen diefer Ellipfe können nach dem in Art. 16 (S. 36) Mitgeteilten ermittelt werden. Der Stirnbogen für ed wird hier eine Halbellipfe mit der halben grofsen Achfe ko und der halben kleinen Achfe km.

Wird ftatt der geraden Stechungslinie eine Bogenlinie in Anwendung gebracht, fo entftehen Kreuzgewölbe mit »Bogenftich«. Die Gewölbflächen werden alsdann fphäroidifch.

Die Ausmittelung der Grat- und Stirnbogen könnte, wie in Fig. 188 für die Gewölbkappe *I* gezeigt ift, für alle Kappen durchgeführt werden, oder diefelbe wird, wie Fig. 191 angiebt, vorgenommen. In derfelben ift gef die Ecke des Grundriffes irgend eines unregelmäfsigen Kreuzgewölbes. Für die Seite ef fei ein Halbkreis als Grundbogen für das Kreuzgewölbe gewählt. Die Scheitellinie der Gewölbkappe esf fei die beliebig angenommene Bogenlinie ik; diefelbe beftimmt den Bogenftich.

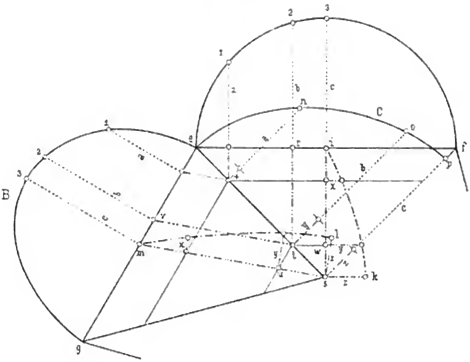
Um irgend einen Punkt o des Gratbogens C über t auf es zu beftimmen, zieht man durch t die Gerade tr parallel zur Achfe si der Grundbogenkappe. Diefelbe ift die wagrechte Projektion einer Erzeugenden diefer Kappe. Ihr Endpunkt am Stirnbogen befitzt die lotrechte Entfernung $r2 = b$ über der Kämpferebene, während ihr Endpunkt am Gratbogen eine Höhe $to = b + y$ über diefer Ebene annimmt. Der Zuwachs y von b entfpricht dem für den Gratpunkt o entftehenden Mafse des Bogenftiches. Um diefes Mafs zu erhalten, ift parallel zu ef eine lotrechte Ebene tw zu führen, welche für die Stechungslinie in Bezug auf is die Ordinate y liefert. Für den Stirnbogen B ergiebt fich unter Benutzung der von t parallel zu sm angegebenen Erzeugenden tv fofort die Höhenlage des Punktes z als $vz = b$ über der Kämpferebene.

Unter Beobachtung der Bezeichnungen in Fig. 191 läfst fich die Beftimmung einer gröfseren Anzahl von Punkten des Gratbogens C, des Stirnbogens B und auch der Scheitellinie ml der zweiten Gewölbkappe esg ohne weiteres treffen. Wäre hier ftatt der Bogenftichlinie ik eine gerade Stechungslinie gegeben, fo hätte das Austragen der Grat- und Stirnlinien unter Benutzung diefer Stechungslinie nach

einem gleichen Verfahren ftattfinden können. Dasfelbe entfpricht der bereits in Art. 16 (S. 34) erwähnten fog. Vergatterung.

123. Kreuzkappen-gewölbe. Ift der Grundbogen irgend ein Flachbogen, fo ift das Feftlegen der Gratbogen, Stirnlinien, Scheitellinien u. f. f. für ein nun entftehendes flaches Kreuzgewölbe oder Kreuzkappengewölbe mit oder ohne Stechung unter Benutzung einer geraden oder einer bogenförmigen Stechungslinie nach dem Vorgetragenen gleichfalls zu bewirken. Bei fehr flachen cylindrifchen Kreuzkappengewölben treten die Grate mit nur geringer Ausprägung vor den Wölbflächen auf, wenn nicht vorweg eine grofse Stechungshöhe angenommen wird. Aus diefem Grunde wählt man für derartige Gewölbe zweckmäfsig einen Bogenftich, um dann fphäroidifche Gewölbkappen zu fchaffen, welche die Form des Kreuzgewölbes zum fchärferen Ausdruck bringen als die cylindrifchen

Fig. 191.



Kappen. Für den Grundbogen diefer Gewölbe kann man paffend $^1/_3$ bis $^1/_4$ feiner Spannweite zur Pfeilhöhe annehmen.

124 Steigende Kreuzgewölbe. Die fteigenden Kreuzgewölbe finden bei Treppenanlagen mehrfach Anwendung. Ihre Geftaltung richtet fich vollftändig, obgleich ihre Kämpferebene eine fchiefe Ebene ift, nach den für das Kreuzgewölbe mit wagrechter Ebene angeführten grundlegenden Ausmittelungen.

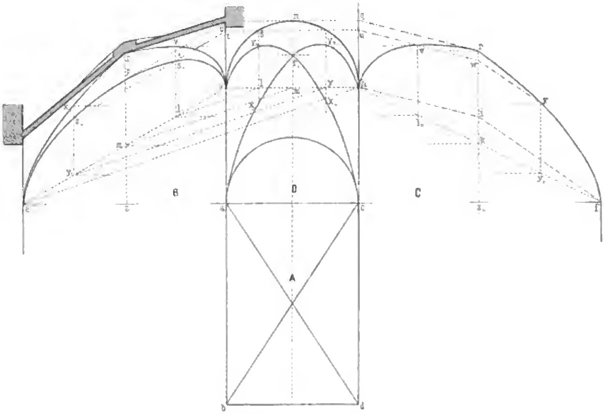
In Fig. 192 ift die Entwickelung der Hauptftücke für ein cylindrifches fteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Grundrifs mit einem Halbkreife als Randbogen für die kleinen Rechteckfeiten *ac* und *bd* und einer Stichhöhe *ik* unter Benutzung der fog. Vergatterung vollftändig gegeben. Aus der Zeichnung find ohne weiteres die Beftimmungen der Gratbogen in *C*, der Stirnbogen über *ab* und *cd* in *B*, fowie die Anhaltspunkte für die Darftellung der Projektion der Gewölbflächen in *D* zu entnehmen.

Steigende Kreuzgewölbe können gleichfalls eine Geftaltung als flache fteigende Kreuzkappen erhalten. Dann find jedoch hierfür wieder paffender, ftatt cylindrifcher

Kappen, folche mit Bogenftich anzuwenden. Dasfelbe gilt auch für fteigende Kreuzgewölbe mit verhältnismäfsig grofser Längenausdehnung, damit alsdann bei diefen Gewölben die Gratlinien fcharf ausgeprägt erfcheinen.

Bei Kreuzgewölben über quadratifchen Grundriffen find beim Feftftellen der fämtlichen Stirnbogen als gleiche Halbkreife die Laibungsflächen der Gewölbkappen oft zweckmäfsig je für fich als Flächen eines geraden Kegels mit wagrechter, in der Kämpferebene liegender Achfe einzuführen. Diefe Ueberleitung der cylindrifchen Gewölbflächen in Kegelflächen bietet einige Vorteile. Die Gratbogen treten mehr fpitzbogenartig auf und erfcheinen freier gehoben als die Gratbogen der felbft mit 125. Kegelförmige Kreuzgewölbe.

Fig. 192.



Stechung behafteten cylindrifchen Kreuzgewölbe über quadratifcher Grundfläche. Infolge hiervon ift auch das Emporfteigen der Kappenflächen ausdrucksvoller.

In Fig. 193 ift die Geftaltung eines folchen Kreuzgewölbes für den quadratifchen Grundrifs *a b c d* entwickelt.

Der durch die Ecken *a b d* des Grundriffes gelegte Halbkreis mit dem Halbmeffer *s a* foll für die zu erzeugenden Kegelflächen mafsgebend werden. Die Kegelachfe *X* geht durch *s*, d. i. durch die wagrechte Projektion des Scheitelpunktes des Gewölbes, und fteht rechtwinkelig auf der Seite *a c*. Das in *s* auf der Achfe *X* errichtete Lot trifft den bezeichneten Halbkreis in *e*. Die durch *e* und *a* bis *m* auf *X* geführte Gerade ift eine in der Kämpferlinie liegende äufserfte Seitenlinie; der Punkt *m* ift die Spitze des Kegels und die von *m* durch *c* bis *v* gezogene gerade Linie eine zweite äufserfte Seitenlinie desfelben.

Da aufserdem durch jede rechtwinkelig zur Kegelachfe geführte Ebene der Kegel nach einem Kreife, bezw. die Kegelhälfte nach einem Halbkreife gefchnitten werden foll, welcher für die Ebene *a c* der Stirnbogen des Gewölbes wird, fo ift nunmehr die in Benutzung zu nehmende Kegelfläche vollftändig beftimmt. Schneidet man diefe Kegelfläche nach *a v* in der Richtung der Gratebene, fo wird die Schnittlinie eine Ellipfe mit der halben grofsen Achfe *a o* = *o v* und der halben kleinen Achfe *o p*. Letztere ergiebt fich mit Hilfe des Kegelfchnittes der Ebene *r t*, wie aus der Abbildung zu erfehen, als das Lot *q o* auf *t o*.

Das Stück *a n b* dieſer Ellipſe iſt der Gratbogen über *a s*. Dieſem Ellipſenſtücke entſprechen auch die Gratbogen über *d s*, *b s* und *c s*. Zwiſchen denſelben liegen die Kegelflächen, welche ebenfalls der Kegelfläche über *a s c* entſprechen, für welche die Ausmittelung vorgenommen wurde. Eine wagrechte

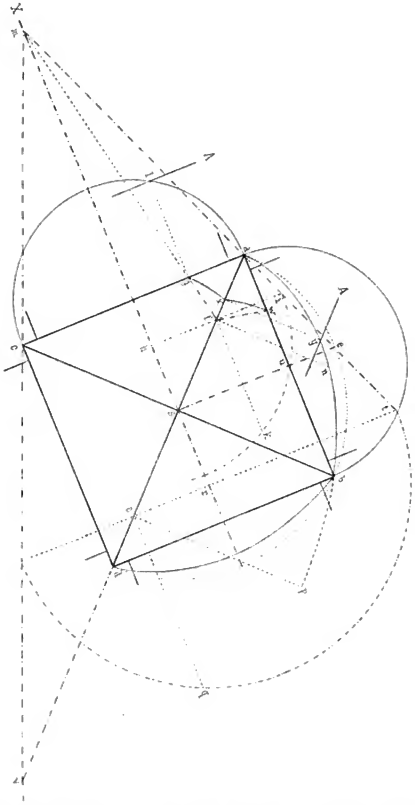


Fig. 193.

Ebene *A* würde eine Schnittlinie mit der wagrechten Projektion *g x w* liefern. Dieſelbe iſt, wie aus der Zeichnung hervorgeht, mit Hilfe der Projektionen der Erzeugenden *m f*, bezw. *f w* der ſich durchdringenden Kegelflächen leicht zu beſtimmen. Bei der Gleichheit dieſer Kegelflächen iſt $a g = a w$. Noch ſei bemerkt,

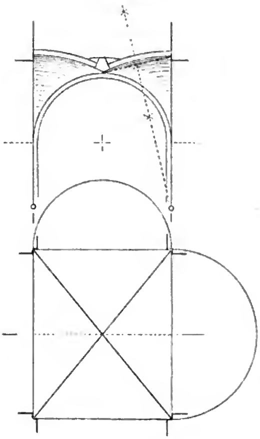
dafs auch $fn = fk$ ift. Die Scheitellinien der Wölbflächen find offenbar Teile höchfter Seitenlinien der Kegelflächen, und danach ift die Stechungshöhe ne auch ohne weiteres mittels der äufseren Seitenlinie ae zu erhalten.

Will man bei rechteckigen oder auch bei unregelmäfsigen Grundriffen kegelförmige Kappen mit cylindrifchen oder fphäroidifchen Gewölbflächen vereinigen, fo betrachtet man die Kegelfläche einer einzelnen Kappe als Ausgangsfläche und bringt alle übrigen Gewölbflächen davon in Abhängigkeit. Hierbei hat man nur wiederholt das im vorhergehenden Gefagte in Anwendung zu bringen, fo dafs befondere Erörterungen hierzu nicht nötig werden.

126. Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitel

Den Gegenfatz zu den Kreuzgewölben mit Stechung, bezw. mit wagrecht liegenden Scheitellinien bilden die Kreuzgewölbe mit gefenktem Scheitelpunkte. Diefer Punkt liegt alsdann entweder tiefer als die Scheitelpunkte famtlicher Stirnbogen, oder nur tiefer als die Scheitelpunkte einzelner Randbogen. Eine folche Geftaltung der Kreuzgewölbe kann wohl bei rechteckigen Räumen vorkommen, wenn alle Stirnbogen Halbkreife werden follen und die Länge des Rechteckes feine Breite nicht zu fehr überwiegt. Alsdann kann nach Fig. 194 die Scheitelhöhe des Randbogens der fchmalen Seite gleich der Scheitelhöhe des Gewölbes felbft genommen werden, fo dafs die Kappen der fchmalen Seiten geraden Cylinderflächen angehören. Da die Scheitelpunkte der Halbkreife der langen Seiten höher liegen, als der Gewölbfcheitel, fo fällt die Scheitellinie der Kappen diefer Seiten vom Stirnbogen nach dem Gewölbfcheitel ab. Diefe Kappen werden alsdann am zweckmäfsigften mit fphäroidifchen Flächen behaftet. Die Ausmittelung diefer Flächen kann entfprechend dem in Art. 117 (S. 205), bezw. Art. 121 (S. 213) Gefagten erfolgen. Im allgemeinen ift die Anordnung von cylindrifchen Kreuzgewölben mit gefenktem Scheitel von weniger günftigem Eindrucke begleitet als diejenige, wobei den Gewölbkappen eine entfprechende Stechung gegeben ift.

Fig. 194.



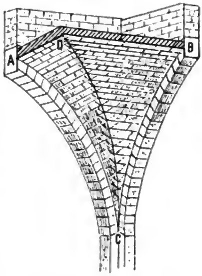
2) Stärke der cylindrifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

127. Grundlagen.

Die Gewölbkappen der cylindrifchen Kreuzgewölbe find Teile eines Tonnengewölbes, welche in der Ebene der Grate in Verbindung, bezw. in einer Schnittfläche zufammentreten oder beffer an einem felbftändig ausgeführten Gratkörper ihr Widerlager finden. Wie das Zufammenfügen der Gewölbkappen auch vorgenommen wird, immer wird im wefentlichen die Summe der im Gewölbfyftem eines Kreuzgewölbes durch fein Eigengewicht und feine Belaftung wachgerufenen Kräfte auf den in der Kämpferebene gelegenen Fufs der Gewölbkappen ubertragen. Da für

die zufammengefügten Kappen die Fufsflächen fich ftreng genommen auf eine gerade Linie herabmindern würden, fo folgt, dafs bei den Kreuzgewölben in der Ausführung für den Gewölbfufs nicht eine Linie, bezw. eine Schneide, fondern eine wirkliche Widerlagsfläche mit darunter befindlichem Stützkörper zu fchaffen ift. Diefe Stützkörper, welche immer am Fufse der zufammentretenden Stirn- und Gratbogen, alfo, der Geftaltung des Kreuzgewölbes gemäfs, an den Ecken der mit Kreuzgewölben zu überdeckenden Räume oder an den Ecken der einzelnen Raumabteilungen gröfserer Räume anzulegen find, bilden die Widerlager der Gewölbkonftruktion.

Fig. 195.



Wenn nun auch bei untergeordneten Kreuzgewölben, d. h. folchen Gewölben, welchen nur eine geringe Spannweite und aufser ihrem Eigengewichte keine weitere Belaftung zugewiefen wird, wie nach Fig. 195 angenommen wurde, ein einfaches Zufammenfügen der Gewölbkappen *A* und *B* in und an der Ebene des Gratbogens *D* möglich ift und hiernach ein Stützkörper am Gewölbfufs *C* unter Benutzung von befonderen Gurt- oder Scheidebogen des Gewölbfeldes oder Gewölbjoches in geeigneter Weife gebildet werden kann, fo ift doch bei den mit einigermafsen ausgedehnteren Spannweiten in gewöhnlichen Fällen zu fchaffenden Kreuzgewölben die Herftellung von befonderen Gratkörpern angezeigt, welche das Widerlager für die Gewölbkörper auf der ganzen Strecke ihrer an den Graten ftattfindenden Anlehnung bieten und in ihren Fufsflächen fich auf den eigentlichen Stützkörper legen. Diefe Körper der Grate werden zweckmäfsig als befondere Gewölbe mit geringer Tiefe, gleichfam als Träger der Kreuzgewölbkappen, in mehr oder weniger grofser Stärke felbftändig für fich ausgeführt oder entfprechend verftärkt mit dem Mauerwerk der Kappen in Zufammenhang gebracht. Immerhin find diefelben der Beftimmung unterworfen, den von den Gewölbkappen erzeugten Druck aufzunehmen und denfelben in Verbindung mit den in ihnen felbft wachgerufenen Druckkräften auf die vorhin bezeichneten Stützkörper oder eigentlichen Widerlager des gefamten Gewölbfyftems zu übertragen.

Aus diefen Gründen find zur Ermittelung der Stärke der Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager Unterfuchungen anzuftellen, welche fich wefentlich zu erftrecken haben auf die Stabilität:

α) der Gewölbkappen,

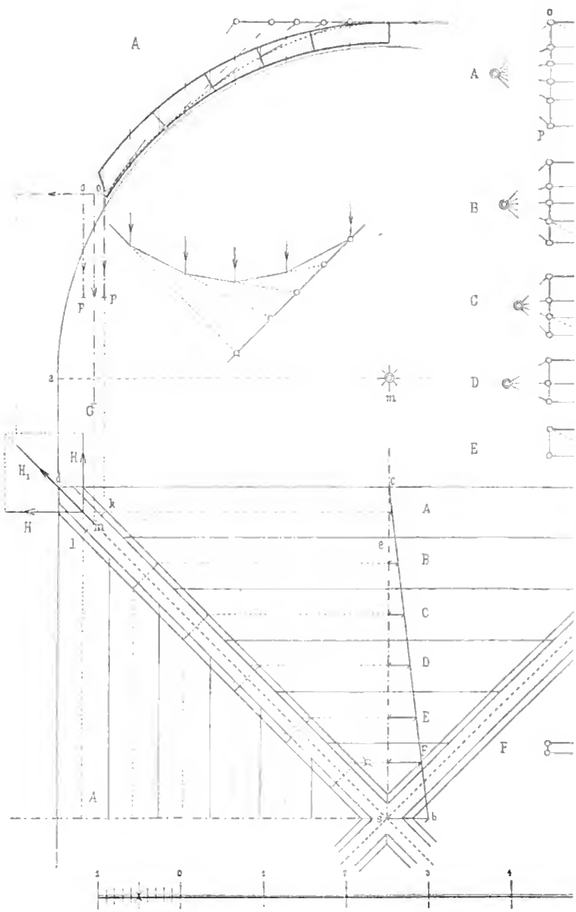
β) der Gratbogen und

γ) der Widerlager an den Ecken des Gewölbes.

Hierzu kommt noch bei der befonderen Einwölbungsart der cylindrifchen Kreuzgewölbe auf Schwalbenfchwanzverband die Unterfuchung der Stabilität der Stirnmauern des Gewölbes.

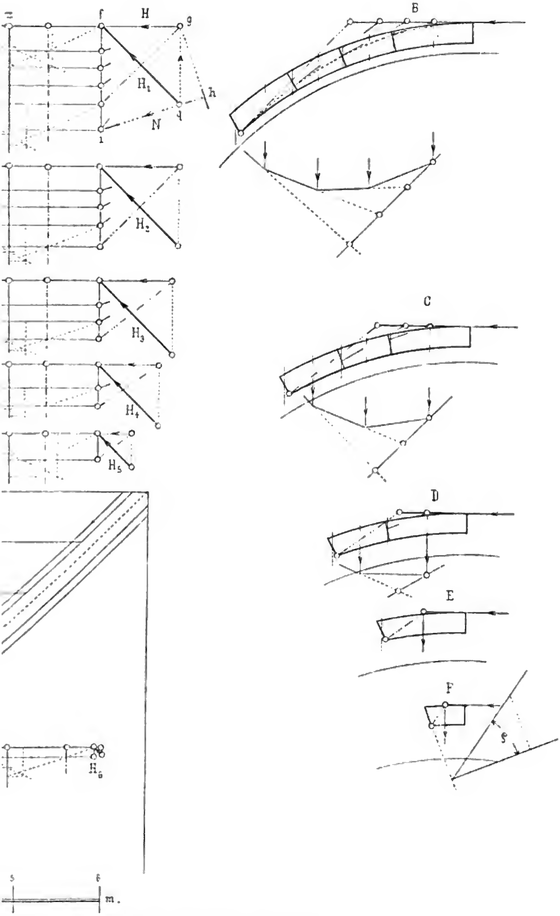
α) Stabilität der Gewölbkappen.

128. Verfahren. Bei der Einwölbung der Gewölbkappen auf Kuf zerlegt man jede Kappe, einfchliefslich ihrer Belaftung, durch lotrechte und parallel zu ihrer Stirnmauer geftellte Ebenen in einzelne fchmale Elementarftreifen. Diefelben bilden kleine



Stabilitätsunterfuchung eines cylindrifchen Kr

223.



:uzgewölbes über quadratischem Grundrifs.

Tonnengewölbe, die ihr Widerlager an den Gratbogen finden, welche die Kappen voneinander fcheiden. Die ftatifche Unterfuchung jedes einzelnen Elementarftreifens kann alfo ganz in derfelben Weife, wie beim Tonnengewölbe in Art. 17 (S. 41) gezeigt wurde, erfolgen.

Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanzverband zerlegt man jede derfelben, einfchliefslich ihrer Belaftung, in Elementarftreifen, welche durch lotrechte und rechtwinkelig zum Grat geftellte Ebenen begrenzt find und fich auf der Scheitellinie jeder Kappe aneinander lehnen. Jeder Elementarftreifen ift alsdann im allgemeinen ein fchmales einhüftiges Gewölbe, deffen Stabilität nach dem in Art. 27 (S. 68) Gefagten geprüft werden kann.

Die befondere Unterfuchung der Gewölbkappen foll nach diefen allgemeinen Grundlagen an einzelnen Beifpielen gezeigt werden. 129. Beifpiel 1.

Beifpiel 1. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die nebenftehende Tafel) fei ein Quadrat von 8 m Seitenlänge. Die Stirnbogen find für alle vier Seiten Halbkreife mit dem Halbmeffer *m a*. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift *s b*. Die Einwölbung erfolge mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht 1,6 auf Kufverband. Die Breite der felbftändig aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 ausgeführten Gratbogen *d s* fei zu 0,40 m gewählt. Von einer befonderen fremden Belaftung des Gewölbes ift Abftand genommen. Ift folche vorhanden, fo wird das Wefen der Unterfuchung an fich nicht geändert. Die Elementarftreifen *A*, *B* . . . *F* der einzelnen Kappen mögen eine fonft beliebig genommene Breite befitzen; hier ift denfelben eine gleiche Breite *c e* gegeben.

Um von vornherein die für die einzelnen Elementarftreifen bei den auf graphifchem Wege zu beftimmenden Gewichtsftrecken noch durch genau und deutlich darzuftellende Linien zu erhalten, felbft wenn die Breiten diefer Streifen voneinander abweichen oder an fich ziemlich fchmal genommen find, oder wenn felbft das Eigengewicht der Streifen verfchieden wäre, kann ein einfaches Zufammenfügen einzelner graphifcher Konftruktionen in Anwendung gebracht werden. Da diefe Konftruktionen auch fpäter bei der ftatifchen Unterfuchung von Kuppelgewölben, bezw. von Kreuzgewölben mit bufigen Kappen benutzt werden, fo foll hier gleich eine allgemeine Behandlung der für die vorliegenden Zwecke erforderlichen graphifchen Ausmittelung der Linienwerte für den Inhalt prismatifcher Körper, bezw. der Gewichtswerte derfelben eintreten. 130. Rauminhalt prismatifcher Körper.

Ein prismatifcher Körper von der Breite *b* Met., der Höhe *h* Met. und der Dicke gleich 1 m befitzt den körperlichen Inhalt

$$V = b \,.\, h \,.\, 1 \text{ Kub.-Met.} \qquad 129.$$

Soll diefer Wert von *V* dargeftellt werden durch die Mafszahl einer Linie *x*, multipliziert mit einer beliebig gewählten Mafszahl *B* (Bafiszahl, bezw. Bafis) einer anderen Linie, fo mufs

$$b \,.\, h \,.\, 1 = B x, \qquad 130.$$

oder

$$\frac{x}{h} = \frac{b}{B} \qquad 131.$$

fein. Wie in Art. 24 (S. 57) angegeben, kann hiernach *x* bei gegebener Bafis *B* in bekannter Weife konftruiert werden. Befitzt nun ein prismatifcher Körper *K* (Fig. 196) eine Breite *b* Met., eine Höhe *h* Met. und eine mittlere Dicke *d* Met., fo ift fein Inhalt

$$v = b\,h\,d \text{ Kub.-Met.} \qquad 132.$$

Soll nunmehr diefer Wert durch die Mafszahl einer Linie *w*, multipliziert mit der feftgefetzten Bafiszahl *B*, dargeftellt werden, fo ift

$$v = b\,h\,d = B\,w \qquad 133.$$

zu fetzen. Da aber nach Gleichung 130: $b\,h = \frac{B\,x}{1}$ ift, fo wird auch

$$\frac{B\,x}{1}\,d = B\,w, \qquad 134.$$

woraus

$$\frac{x}{1} = \frac{w}{d} \qquad 135.$$

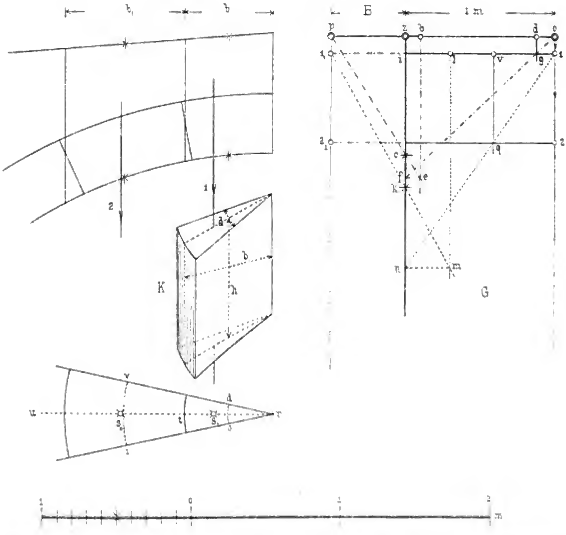
folgt. Sobald x gezeichnet ist, kann hiernach w gleichfalls durch Zeichnung gefunden werden. Beachtet man, dafs, je kleiner die Basis B genommen wird, die Länge x und danach auch die Länge w desto gröfser erhalten wird, so kann in jedem Falle ein entsprechend deutlicher Plan für jene Linienwerte angefertigt werden. Ist weiter γ Tonnen das Gewicht von 1 Kub.-Met. des betrachteten Körpers, dessen Inhalt durch Bw ausgedrückt wird, so ist sein Gewicht

$$G = Bw\gamma \text{ Tonnen.} \qquad 136.$$

In der Zeichnung ist die Basis $B = pz = 0{,}5^{m}$. Die Strecke zo ist gleich 1^{m} zu nehmen.

Durch p, z und o werden lotrechte Linien gezogen. Trägt man auf der Linie po die Breite $b = pb$ des Körpers ab, zieht man alsdann die Lotrechte be, schneidet man auf der z-Linie die Strecke zc gleich

Fig. 196.



der Höhe h des Körpers ab und zieht man durch p und c einen Strahl, bis derselbe gehörig verlängert die durch b geführte Lotrechte in e schneidet, so ist be gleich dem Werte x der Gleichung 131. Nimmt man nunmehr auf der z-Linie die Strecke $zf = be = x$, trägt man die mittlere Dicke d des Körpers auf der Linie po von o aus als $od = d$ ab und zieht man durch den Punkt d die Lotrechte, so erhält man nach Führung des Strahles of sofort auf dieser Lotrechten den Schnitt g und in der Strecke dg den Linienwert w. Denn es ist

$$\frac{zf}{1} = \frac{dg}{od}, \text{ d. h. } \frac{x}{1} = \frac{w}{d},$$

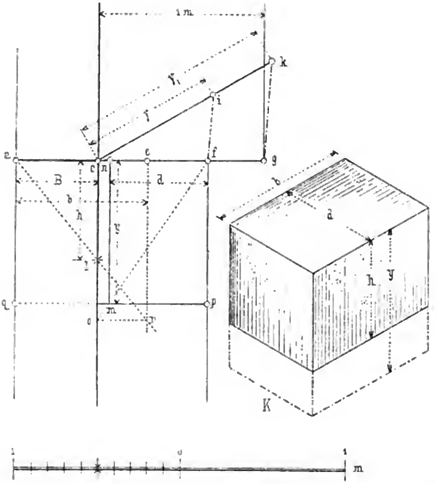
entsprechend der Gleichung 135. Zieht man durch g die Parallele $1\,1_1$ zu po, so ist auch $o\,1 = p\,1_1 = w$.

Fährt man unter Benutzung der Linie $1\,1_1$ in gleicher Weise, wie aus der Zeichnung ersichtlich, zur Bestimmung des Linienwertes $w = vq = 1\,2 = 1_1\,2_1$ fort, so erhält man die Aneinanderreihung der für den Inhalt der Körper mafsgebenden Strecken.

Nach der Zeichnung ift $o\,1 = w = 0{,}11$ m. Da $B = 0{,}50$ m, fo ift nach Gleichung 133 $v = 0{,}5 \cdot 0{,}11 = 0{,}055$ cbm. Wiegt 1 cbm 1,6 t, fo ift nach Gleichung 136: $G = 0{,}055 \cdot 1{,}6 = 0{,}088$ t = 88 kg. Hiernach ift der Plan G auch ohne weiteres als Gewichtsplan, bezw. als Kräfteplan zu verwerten.

Sind die Inhalte, bezw. die Gewichte von einer Reihe nacheinander zufammengefügter Körper, welche verfchiedene Eigengewichte befitzen, in einem Gewichtsplane zufammenzutragen, fo find die einzelnen Gewichtsftrecken auf ein und dasfelbe Eigengewicht, welches irgend einem einzigen gewählten Körper angehört, zurückzuführen. Dann kann die Beftimmung der Gewichtsftrecken nach Fig. 197 in folgender Weife gefchehen.

Fig. 197.



Der Körper K, deffen Inhalt $V = b\,h\,d$ Kub.-Met. ift, befitze ein Gewicht γ_1 Tonnen für 1 cbm. Alsdann ift das Gewicht desfelben

$$G = b\,h\,d\,\gamma_1 \text{ Tonnen.} \qquad 137.$$

Ift nun das zu Grunde zu legende Gewicht, welches für alle Körper bei der Ermittelung der Gewichtsftrecken eingeführt werden foll, gleich γ Tonnen für 1 cbm, ift ferner der gefuchte Linienwert y von einer folchen Gröfse, dafs der Körper, welchem diefe Strecke y zukommt, unter Multiplikation mit der feftgefetzten Bafiszahl B in feinem Inhalte v, entfprechend der Gleichung 133, durch By ausgedrückt erfcheint, fo ift fein Gewicht G_1 zu berechnen als

$$G_1 = B\,y\,\gamma \text{ Tonnen.} \qquad 138.$$

Soll nun G_1 diefelbe Gröfse wie G darftellen, fo mufs nach den Gleichungen 137 u. 138

$$b\,h\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$$

werden. Da nach Gleichung 130: $b\,h = B\,x$ zu fetzen ift, fo folgt auch $B\,x\,d\,\gamma_1 = B\,y\,\gamma$ oder

$$x\,d\,\gamma_1 = y\,\gamma.$$

Hieraus entfpringt der Ausdruck

$$\frac{x\,d}{y} = \frac{\gamma}{\gamma_1} \qquad 139.$$

Setzt man $\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \lambda$, d. h. auch

$$\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \frac{\lambda}{1}, \qquad 140.$$

fo läfst fich λ konftruieren.

Nachdem λ beftimmt ift, ergiebt fich nach Gleichung 139: $\frac{x\,d}{y} = \lambda$ nunmehr der Ausdruck

$$\frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda}, \qquad 141.$$

wonach die gefuchte Strecke y durch Zeichnung ermittelt werden kann.

In Fig. 197 ift $a\,c$ gleich der Bafis B und $c\,g = 1^{m}$ abgetragen. Auf der beliebig durch c gezogenen Linie $c\,k$ ift nach einem fonft willkürlich genommenen Mafsftabe die Strecke $c\,k$ gleich der Mafszahl von $\gamma_{\prime}$ und $c\,i$ gleich der Mafszahl von γ abgefchnitten. Verbindet man k mit g und zieht zu $k\,g$ die Parallele $i\,f$, fo fchneidet diefelbe im Stücke $c\,f$ die Länge λ ab. Denn es ift $\frac{\gamma}{\gamma_{\prime}} = \frac{cf}{1} = \frac{\lambda}{1}$, wie nach Gleichung 140 fein mufs.

Nimmt man nunmehr auf der Hauptlinie c, die durch den Endpunkt der Bafisftrecke B geht, $c\,l$ gleich der Höhe h des Körpers, ferner auf der Geraden $a\,g$ die Strecke $a\,e$ gleich der Breite b des Körpers, und zieht man durch a und l den fog. Reduktionsftrahl $a\,r$, fo erhält man in bekannter Weife die Länge $c\,r$ als den Linienwert x. Nimmt man auf der c-Linie $c\,o = c\,r = x$, trägt fodann aber von f aus die Strecke $f\,n$ gleich der Dicke d des Körpers auf $f\,a$ ab, fo fchneidet ein Strahl $f\,o$ die Lotrechte für n im Punkte m, und $n\,m$ ift die gefuchte Linie y. Man hat der Zeichnung gemäfs

$$\frac{y}{d} = \frac{c\,o}{c\,f}, \quad \text{d. h.} \quad \frac{y}{d} = \frac{x}{\lambda},$$

entfprechend Gleichung 141. Zieht man durch m die Parallele $p\,q$ zu $a\,g$, fo ift auch $a\,q = f\,p = y$.

Das Gewicht des Körpers ift fofort zu beftimmen. Da $c\,i = \gamma = 1{,}6^{t}$ darftellt, $B = 0{,}50^{m}$ genommen ift und y nach der Zeichnung $0{,}86^{m}$ beträgt, fo ift nach Gleichung 138 diefes Gewicht $G_{\prime} = 0{,}50 \cdot 0{,}86 \cdot 1{,}6^{t} = 0{,}688^{t} = 688^{kg}$.

131. Beifpiel 1: Fortfetzung. Nach diefen Ausführungen find die Gewichtsftrecken der Elementarftreifen A bis F auf der Tafel bei S. 223 beftimmt. Die Austragungen der Querfchnitte für die lotrechten Ebenen in der Mitte der Streifen unter Berückfichtigung der Stechung find mit den einfachften Mitteln der darftellenden Geometrie zu bewirken. Die Gewölbftärke ift zu einer Backfteinlänge, alfo gleich $0{,}25^{m}$, angenommen; die Breite der Streifen beträgt $0{,}60^{m}$. Die Bafis $o\,s$ der Gewichtsftrecken ift zu $0{,}50^{m}$ gewählt. In hinlänglich befchriebener Weife find die Stabilitätsunterfuchungen diefer einzelnen Tonnengewölbftücke unter Annahme des möglich kleinften Gewölbfchubes, wie aus der Zeichnung näher zu erfehen ift, durchgeführt.

Für den gröfsten Elementarftreifen A ergiebt fich der für den Gewölbfchub mafsgebende Wert der Linie $g\,f$ zu $0{,}95^{m}$. Da die Bafis $0{,}50^{m}$ beträgt, fo würde fich der Gewölbfchub zu $0{,}95 \cdot 0{,}50 = 0{,}475^{qm}$ ergeben. Um für die Berechnung der Gewölbftärke die Gleichungen 48 (S. 46) u. 53 (S. 47), bezw. die Tabelle auf S. 62 benutzen zu können, ift zu beachten, dafs jene Gleichungen, bezw. jene Tabelle unter der Annahme einer Gewölbtiefe gleich der Längeneinheit (gleich 1^{m}) aufgeftellt find. Würde alfo der Streifen A ftatt einer Breite von $0{,}60^{m}$ eine folche von 1^{m} befitzen, fo würde fich der Gewölbfchub ergeben zu

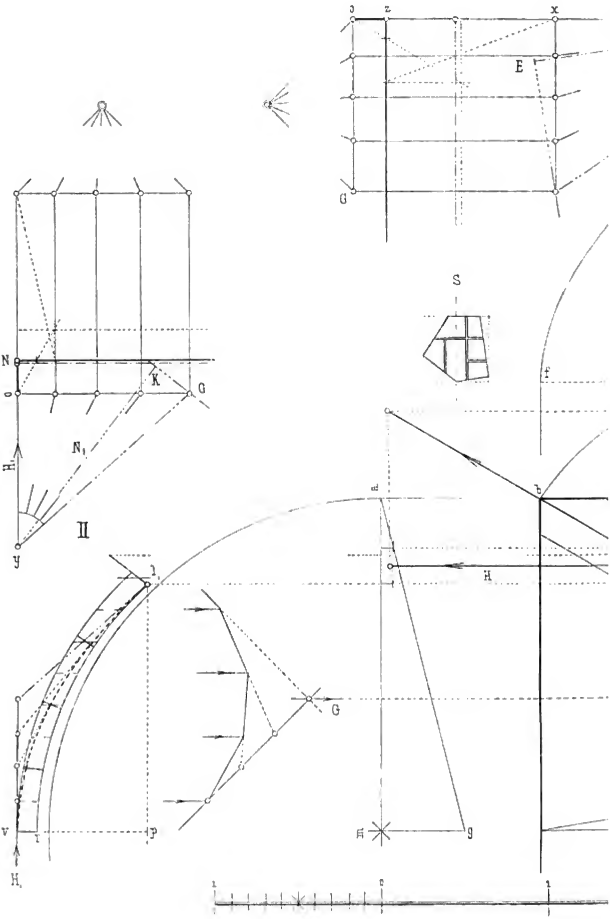
$$H = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}475 = 0{,}79 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 erfordert diefer Gewölbfchub nicht ganz eine Backfteinlänge als Gewölbftärke.

In gleicher Art findet man den Normaldruck des Streifens A für die Widerlagsfuge unter Verwertung der Linie $h\,i = 1{,}40^{m}$ zu

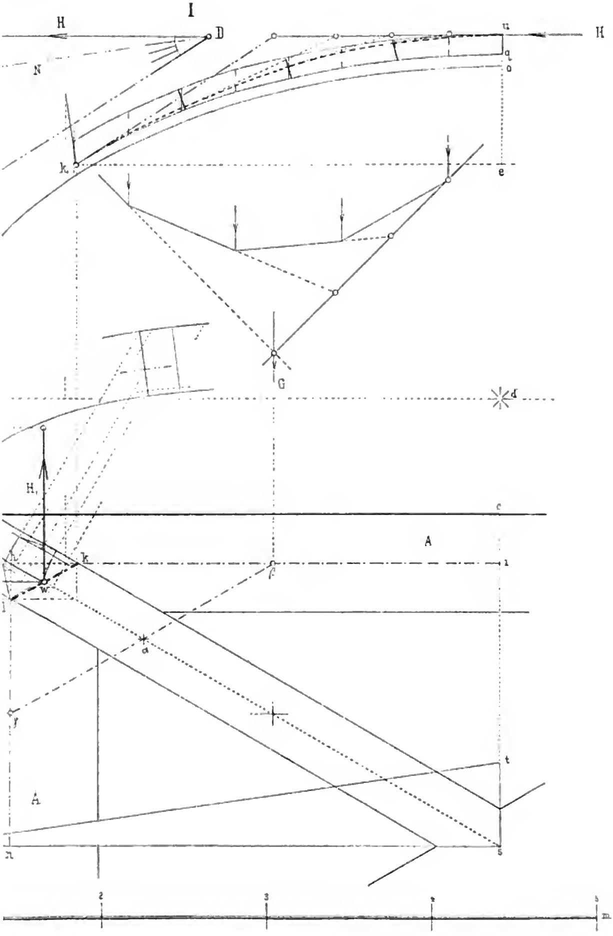
$$N = \frac{1}{0{,}6} \cdot 1{,}40 \cdot 0{,}50 = 1{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Auch für diefe Zahl giebt die Tabelle auf S. 62 keine über $0{,}25^{m}$ gehende Gewölbftärke. Die für die Kappen angenommene Gewölbftärke ift alfo ausreichend. Da alle übrigen Gewölbftreifen kleineren Gewölbfchüben unterliegen, die Prüfung der fämtlichen Streifen den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und gegen Gleiten (Reibungswinkel ρ bei F) bekundet, fo können die Gewölbkappen als ftabil gelten. Der Einflufs, welcher von den Gewölbftreifen durch ihre Gewichte und ihre Gewölbfchübe auf den Grat ausgeübt wird, ift ohne weiteres auf den Streifen A bei m zu erkennen. Gegen den Grat treten die beiden hier gleichen Streifen A mit einem Gewölbfchube $g\,i$ des Gewichtsplanes A. Die Angriffspunkte k und l



Stabilitätsunterfuchung eines cylindrifchen

. 227.



reuzgewölbes über rechteckigem Grundrifs.

derfelben liegen am Grat in einer wagrechten Linie kl. Zerlegt man die in k und l angreifenden Gewölbfchube gi in ihren lotrechten Kräfteebenen je in eine wagrechte Seitenkraft $H = gf = qg$ und in eine lotrechte Seitenkraft $fi = op$, fo laffen fich zunächft H und H zu einer wagrechten Mittelkraft H_1 zufammenfetzen, welche nunmehr in der lotrechten Mittelebene ds des Gratbogens liegt und deren Angriffspunkt nach m in die wagrechte Linie kl zu legen ift. Diefes Zufammenfetzen der Kräfte H ift im Gewichtsplane durch das Kräftedreieck qgf vorgenommen. Sodann laffen fich auch die lotrechten, in k und l wirkenden Kräfte op zu einer einzigen Mittelkraft G_1 hier gleich $2\,op$, zufammenfetzen, deren Richtung gleichfalls durch m geht, fo dafs nunmehr der Gratbogen aufser feinem Eigengewichte vor allen Dingen in dem Punkte m, deffen Lage in jedem Falle leicht ermittelt werden kann, vom Streifen A durch die Kräfte H_1 und G beanfprucht wird. Auf demfelben Wege find, wie in den Kräfte- oder Gewichtsplänen der einzelnen Streifen angegeben, auch alle von den Elementarftreifen herrührenden und für den Gratbogen in Rechnung tretenden Kräfte aufzufinden. Von diefen Kräften wird bei der Beftimmung der Stärke der Gratbogen unter β Gebrauch gemacht werden.

Beifpiel 2. Der Grundrifs eines cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Stechung (fiehe die nebenftehende Tafel) fei ein Rechteck von $4{,}00$ m Breite und $6{,}90$ m Länge. Die Stirnbogen der fchmalen Seiten find Halbkreife mit dem Halbmeffer ma; diejenigen der langen Seiten hingegen, da fämtliche Randbogen eine gleich grofse Pfeilhöhe erhalten follen, find Halbellipfen mit der halben grofsen Achfe bc, bezw. fd und der halben kleinen Achfe $do = ma$. Die Stechungshöhe des Gewölbes ift $mg = st = 0{,}50$ m. Die Einwölbung foll auf Kufverband mit Backfteinmaterial vom Eigengewicht $1{,}6$ erfolgen. Die Grate find gleichfalls aus Backftein von $1\frac{1}{2}$ Stein Breite und $1\frac{1}{2}$ Stein Höhe mit entfprechenden Widerlagsflächen für die Gewölbkappen herzurichten. 132. Beifpiel 2.

Da es für die Beftimmung der Gewölbftärke ausreichend ift, die am weiteften gefpannten Elementarftreifen von je zwei an einem Gratbogen zufammentretenden Kappen ftatifch zu unterfuchen, fo find hier die beiden Elementarftreifen A und A_1, welche unmittelbar an den Stirnbogen der Seiten des Rechteckes liegen, in Betracht gezogen. Die lotrechten Mittelebenen, welche zugleich Kräfteebenen der Streifen find, ftehen parallel zu den Stirnebenen. Sie fchneiden fich in einer lotrechten Linie, welche die Gratlinie über bs in einem Punkte trifft, deffen wagrechte Projektion h wird. Bei diefer Beftimmung der Kräfteebenen, welche durch die voneinander abhängige Zerlegung der Kappen in ihre Elementarftreifen bedingt ift, entftehen bei einem rechteckigen Grundrifs ftets zwei am Grat zufammenlaufende Streifen von verfchiedener Breite, wobei aber das Verhältnis der Breite b des fchmalen Streifens A zur Breite B des anliegenden Streifens A_1 immer durch

$$\frac{b}{B} = \frac{cs}{bc} \qquad \ldots \qquad 142.$$

auszudrücken ift. Auch für die Weite der Elementarftreifen ergiebt fich ein Zufammenhang, indem aus leicht erfichtlichen Gründen

$$\frac{ki}{ln} = \frac{bc}{cs} \qquad \ldots \qquad 143.$$

wird. Da nun aufserdem vermöge der Geftaltung der Laibungsflächen der cylindrifchen Kappen auch beim Vorhandenfein einer Stechung die Anfchlufspunkte k, bezw. l, der mittleren Wölblinien folcher Streifen A und A_1 an der Widerlagsfläche am Grat eine gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhalten, fo ift die gerade Verbindungslinie diefer Punkte, deren wagrechte Projektion kl ift, auch eine wagrechte Linie. Ferner ift zu beachten, dafs die Pfeilhöhen eq und pr infolge der regelrechten Ausmittelung der mittleren Wölblinie der Streifen A und A_1, wie folche nach der grundlegenden Geftaltung (fiehe Art. 122, S. 215) der Gewölbflächen zu gefchehen hat, einander gleich werden. Ift nun die Stärke beider Elementarftreifen, wie bei der Ausführung der Fall, wiederum diefelbe, fo ift auch $eu = pv$, d. h. die höchften Punkte einer gedachten Scheitelfuge der fymmetrifch gebildeten kleinen Tonnengewölbe, welche für die Elementarftreifen nur zur Hälfte berückfichtigt zu werden brauchen, liegen in einer wagrechten Ebene. Weiter ift zu berückfichtigen, dafs, wenn F die Gröfse der mittleren Schnittfläche des längeren Streifens A und f diejenige der mittleren Schnittfläche des kürzeren Streifens A_1 ift, auch in Abhängigkeit von der Geftaltung des Gewölbes

$$\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs} \qquad \ldots \qquad 144.$$

wird. Bei gleicher Stärke d der Elementarstreifen wird der Inhalt V des Körpers A von der Breite b gleich bF und der Inhalt V_1 des Körpers A_1 von der Breite B gleich Bf; mithin ist

$$\frac{V}{V_1} = \frac{bF}{Bf},$$

d. h. unter Anwendung der Gleichungen 142 u. 144

$$\frac{V}{V_1} = \frac{cs}{bc} \cdot \frac{bc}{cs} = 1$$

oder

$$V = V_1 \quad \ldots \ldots \quad 145.$$

Demnach sind bei gleichem Wölbmaterial auch die Gewichte G der beiden Gewölbstreifen A und A_1 einander gleich. Hieran würde auch nichts geändert, wenn beide Gewölbstreifen A und A_1 eine das Verhältnis $\frac{F}{f} = \frac{bc}{cs}$ nicht umgestaltende fremde Belastung über dem Rücken aufzunehmen hätten. Das Gewicht G wirkt im Abstande $\mathfrak{z}k$ vom Widerlagspunkte k, der Mittellinie des Streifens A, während das gleiche Gewicht G des Streifens A_1 im Abstande γl vom Widerlagspunkte l, der Mittellinie des Streifens A_1 angreift. Wieder ist zu beachten, dass

$$\frac{\mathfrak{z}k}{\gamma l} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \ldots \quad 146.$$

ist. Entsprechend Gleichung 38 (S. 43) ergiebt sich der Gewölbschub H des Streifens A als

$$H = G \frac{\mathfrak{z}k}{eu} \quad \ldots \ldots \quad 147.$$

und der Gewölbschub H_1 des Streifens A_1 als

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{fv},$$

oder da, wie vorhin angegeben, $fv = eu$ ist,

$$H_1 = G \frac{\gamma l}{eu} \quad \ldots \ldots \quad 148.$$

Aus den Gleichungen 147 u. 148 erhält man sofort $\frac{H}{H_1} = \frac{\mathfrak{z}k}{\gamma l}$, d. h. nach Gleichung 146

$$\frac{H}{H_1} = \frac{bc}{cs} \quad \ldots \ldots \quad 149.$$

Die auf die Widerlagsflächen der Streifen am Gratbogen treffenden Gewölbschübe zerlegen sich für den Streifen A im Punkte k_1, bezw. k in die lotrechte Seitenkraft G und in die wagrechte Kraft H, ebenso für den Streifen A_1 im Punkte l_1, bezw. l in eine lotrechte Seitenkraft ebenfalls gleich G und in die wagrechte Kraft H_1. Die aus G und G entspringende Mittelkraft gleich $2G$ geht durch den Halbierungspunkt w_1 der wagrechten Geraden kl. Der Punkt w_1 ist aber ein Punkt der lotrechten Gratebene bs, welche die Bogenlinie des Grates enthält. Setzt man die durch k_1 und l_1, bezw. k und l gehenden wagrechten Kräfte H und H_1 im Verfolg ihrer Lage in h zu einer Mittelkraft zusammen, so fällt vermöge der Beziehung 149 diese Mittelkraft gleichfalls in diese Richtungsebene bs des Gratbogens. Da schliesslich h die gleiche Höhe über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes wie der Punkt w_1 besitzt, so folgt, weil der Angriffspunkt der Mittelkraft aus H und H_1 in ihrer Richtung von h nach w_1 verlegt werden darf, dass der Gratbogen in vorteilhafter Weise in seiner Richtungsebene bs, welche zugleich Kräfteebene des Grates sein soll, in dem ermittelten Punkte w_1 durch die lotrechte Mittelkraft $2G$ und die wagrechte Mittelkraft aus H und H_1, welche von den Gewölbdrücken der Elementarstreifen A und A_1 herrühren, beansprucht wird. Würde man in gleicher Weise für alle entsprechend geordneten Elementarstreifen der an einem Grat zusammentretenden Gewölbkappen die Ermittelung der Kräfte durchführen, so würde auch hieraus eine Beanspruchung des Grates in seiner Kräfteebene bs sich kennzeichnen.

Dieses für die Konstruktion, bezw. für die Gestaltung und praktische Ausführung der cylindrischen Kreuzgewölbe über rechteckigen Grundrissen äusserst wichtige Ergebnis, dessen Erzielung bei der Durchführung derartiger Gewölbe eigentlich zur Forderung erhoben werden muss, hat sich in einem anderen Gewande auch durch die in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 485, S. 453[20]) dieses »Handbuches« geführten Untersuchungen herausgestellt.

Die auf üblichem Wege angestellte statische Untersuchung der Gewölbstreifen A und A_1 unter Berücksichtigung des möglich kleinsten Horizontalschubes ist aus den Plänen I und II der Tafel bei S. 227 zu ersehen.

[20]) 2. Aufl.: Art. 279, S. 263; 3. Aufl.: Art. 285, S. 298.

Nach der Zeichnung erhält man für die Strecke Dx im Plane I die Länge von $1{,}60$ m, für die Strecke yo im Plane II die Länge von $0{,}93$ m. Hiernach ist $\frac{Dx}{yo} = \frac{1{,}60}{0{,}93} = 1{,}72$.

Da nun bc als halbe Rechteckseite gleich $\frac{6{,}9}{2} = 3{,}45$ m und $cs = \frac{4}{2} = 2$ m ist, so würde $\frac{bc}{cs} = \frac{3{,}45}{2} = 1{,}725$ sein; folglich sind die gemessenen Strecken Dx und yo in recht guter Uebereinstimmung erhalten.

Die Breite des Streifens A ist zu $0{,}60$ m angenommen, und somit ergiebt sich die Breite des Streifens A_1 in Uebereinstimmung mit der Zeichnung nach Gleichung 142 zu $B = 0{,}60 \cdot \frac{3{,}45}{2} = 1{,}035$ m. Da die Dicke der Wölbstreifen $qu = rv$ für beide Stücke dieselbe ist, so erhält man auch die Gewichtsstrecken, bezw. Flächenwerte oder Körperinhalte in beiden Plänen I und II als oG in der Zeichnung von gleicher Gröfse trotz verschiedener Breite der Lamellen der einzelnen Gewölbflächen, wie es nach der Rechnung, entsprechend Gleichung 145, sein soll. Der Horizontalschub H ergiebt sich für den Streifen A, da die Basis oz zur Reduzierung der Kräfte (Gewichte) gleich $0{,}20$ m gewählt wurde, als $H = 1{,}60 \cdot 0{,}20 = 0{,}32$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., während der Horizontalschub des Streifens A_1 sich zu $H_1 = 0{,}93 \cdot 0{,}20 = 0{,}186$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. bestimmt.

Um die Gewölbstärke berechnen zu können, ist, wie im Beispiel 1, der Horizontalschub der Streifen wiederum bei jedem derselben für eine Tiefe gleich der Längeneinheit, also gleich 1 m, zu ermitteln. Hiernach wird der für den Streifen A von der Breite $0{,}60$ m zu beachtende Gewölbschub

$$\mathfrak{H} = \frac{1}{0{,}60} \cdot 0{,}32 = 0{,}533 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und der für den Streifen A_1 geltende Gewölbschub

$$\mathfrak{H}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 0{,}186 = 0{,}105 \text{ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 62 erfordert der Gewölbschub $\mathfrak{H}$ des Hauptstreifens der weitesten Kappe eine Stärke, welche zwischen ½ Stein und 1 Stein als Durchschnittswert liegt, während für einen Hauptstreifen der schmalen Kappe, dem Gewölbschube $\mathfrak{H}_1$ entsprechend, eine Gewölbstärke von ½ Stein völlig genügt.

Für den Normaldruck $\mathfrak{N}$, bezogen auf die Tiefe gleich 1 m, wird für die Widerlagsfuge des Hauptstreifens der weitesten Kappe am Grat, da DE im Plan I gleich $1{,}74$ m, also $N = 1{,}74$. Basiszahl $= 1{,}74 \cdot 0{,}2 = 0{,}348$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. ist,

$$\mathfrak{N} = \frac{1}{0{,}6} \cdot 0{,}348 = 0{,}58 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf S. 62 erfordert dieser Druck eine Gewölbstärke von nicht ganz ½ Stein. Läfst man, da der wagrechte Schub $\mathfrak{H}$ dieses Streifens eine etwas gröfsere Gewölbstärke erfordert als der Normaldruck $\mathfrak{N}$, bei sehr gutem Backsteinmaterial eine etwas stärkere Pressung hier als zuläffig gelten, so kann auch die $6{,}90$ m weite Kappe des untersuchten Gewölbes mit ½ Stein Stärke, wie in der Zeichnung angenommen ist, beibehalten werden.

Der Normaldruck $\mathfrak{N}_1$ der schmalen Kappe wird, da yK im Plane II zu $1{,}38$ m gefunden ist, berechnet als

$$\mathfrak{N}_1 = \frac{1}{1{,}72} \cdot 1{,}38 \cdot 0{,}2 = 0{,}16 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Da dieser Wert nach der Tabelle auf Seite 62 keine gröfsere Dicke als ½ Stein beansprucht, so bleibt diese schon für $\mathfrak{H}_1$ festgesetzte Stärke der schmalen Kappe gültig. Der Verlauf der eingezeichneten Mittellinien des Druckes in den Plänen I und II der Tafel bei S. 227 ergiebt Gleichgewichtszustand gegen Drehung und, da die resultierenden Pressungen in den einzelnen Teilfugen der Streifen mit der Senkrechten zu diesen Fugen stets Winkel einschliefsen, welche kleiner bleiben als der Reibungswinkel ρ des Materials ($\operatorname{tg} \rho$ etwa $= 0{,}7$), auch Gleichgewichtszustand gegen Gleiten. Auf den letzteren Punkt ist namentlich hinsichtlich der Widerlagsfugen am Grat zu achten, da, falls sich hier beim Auffinden der Mittellinie des Druckes ein Gleiten bekunden sollte, die Neigung der Ansatzfläche der Wölbstreifen am Grat S so weit abzuändern ist, dafs alsdann kein Gleiten mehr möglich wird.

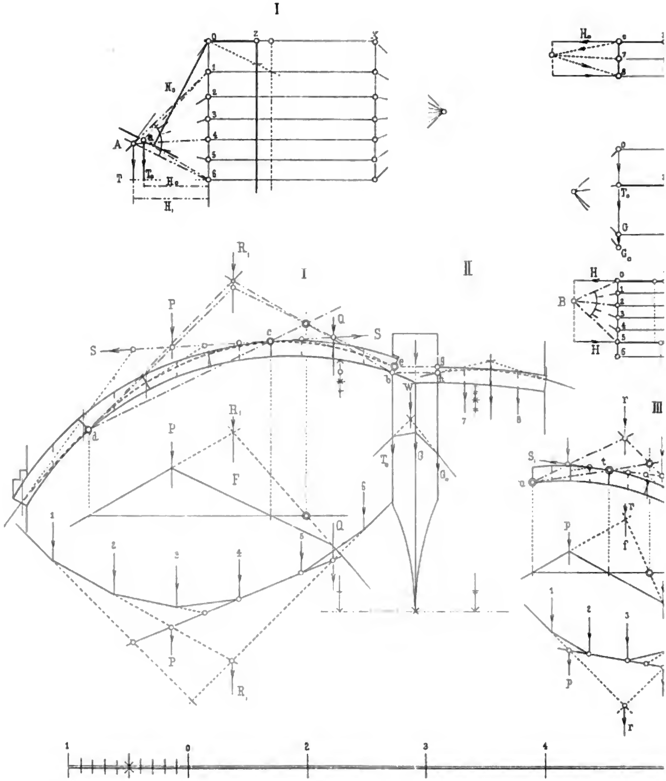
Hätte man den Hauptstreifen der weitesten Kappe 1 Stein stark ausführen wollen, während der

zugehörige Hauptstreifen der antretenden schmalen Kappe nur $\frac{1}{2}$ Stein stark verbliebe, so hätte eine Uebermauerung dieses letzteren Stückes in der Art vorgenommen werden müssen, dass die Gewichte, bezw. Flächen oder Inhalte der Sreifen das mehrfach erwähnte, in Gleichung 144 ausgesprochene Verhältnis beibehalten konnten. Im anderen Falle würde der Gratbogen durch die Gewölbdrücke nicht in seiner Richtungsebene bs in der oben geforderten günstigen Weise beeinflusst, sondern leicht Verschiebungen, bezw. Verdrehungen ausgesetzt werden können.

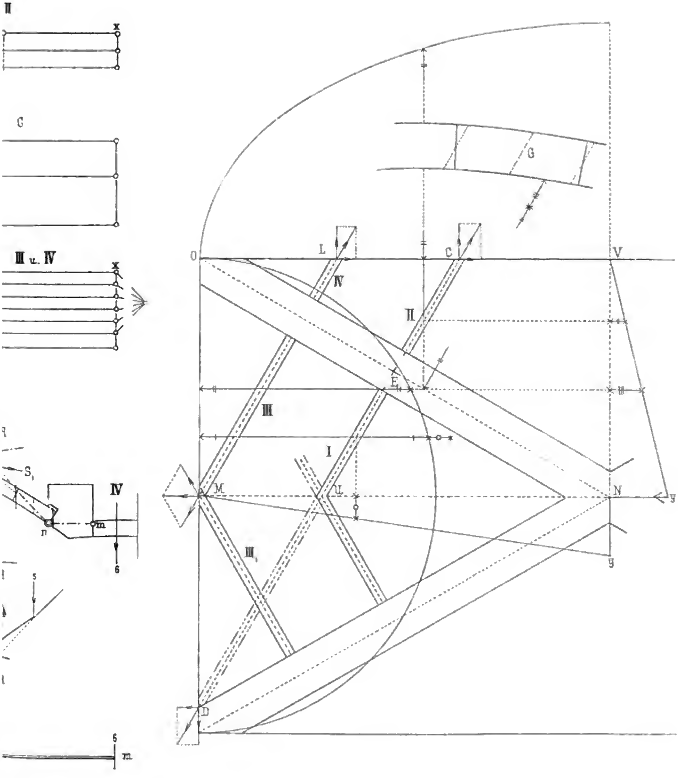
Cylindrische Kreuzgewölbe mit oder ohne Stechung werden sehr häufig auf Schwalbenschwanzverband eingewölbt. Hierbei sollen, wie bei der Ausführung der Kreuzgewölbe (unter 3) noch näher gezeigt werden wird, die einzelnen Wölbstreifen oder Zonenlagen in ihren Stirnflächen Normalebenen des Gratbogens angehören. Die wagrechten Projektionen der Wölblinien dieser Zonen treten als Schnittlinien jener Ebenen mit den cylindrischen Kappenflächen im allgemeinen als elliptische Linien auf, welche in ihrem Anfangselemente an der wagrechten Projektion der Gratlinie eine Tangente besitzen, deren wagrechte Projektion keine Senkrechte zur Grundrisslinie des Gratbogens ist. Ausserdem treffen sich, wie in Art. 62 (S. 137) bei den Kappengewölben angeführt ist, die einzelnen einander zugehörigen Streifen, sobald die Scheitellinie einer Kappe erreicht wird, in einer sog. Schnäbelung über dieser Linie. Wie die auf Schwalbenschwanzverband eingewölbten gewöhnlichen Kappengewölbe in den einzelnen Wölbstreifen ihren Gewölbschub sowohl auf die Widerlagsmauern als auch auf die Stirnmauern übertragen, so wird auch bei den nach diesem Verbande gewölbten cylindrischen Kreuzgewölben von den einzelnen Wölbzonen nunmehr ein Gewölbschub auf die Gratbogen und auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern des Gewölbes überführt, so dass Gratbogen und Randbogen, bezw. Stirnmauern in erster Linie als Widerlager dieser Kappen auftreten. Die statische Untersuchung, welche in einigen wesentlichen Gesichtspunkten sich der in Fig. 121 (S. 138) für ein gewöhnliches Kappengewölbe durchgeführten Behandlung anschliesst, soll im Nachstehenden vorgenommen werden.

133. Beispiel 3. Beispiel 3. Der Grundriss eines cylindrischen Kreuzgewölbes mit Stechung (siehe die nebenstehende Tafel) sei wiederum ein Rechteck von $6{,}90$ m Länge und $4{,}00$ m Breite. Die Stirnbogen der kurzen Seiten sind Halbkreise vom Halbmesser $MO = MD$. Die Randbogen der langen Seiten sind Halbellipsen mit einer halben grossen Achse gleich VO und einer halben kleinen Achse gleich MO. Die Stechungshöhe ist $Ny = 0{,}50$ m. Die Grate sind aus Backstein $1\frac{1}{2}$ Stein breit und $1\frac{1}{2}$ Stein stark selbständig auszuführen; die Kappen sind $\frac{1}{2}$ Stein stark im Schwalbenschwanzverband zu wölben.

Wenngleich für die Bestimmung der Richtung der einzelnen Wölbschichten die Annahme der oben bezeichneten Normalebenen zum Gratbogen G massgebend sein würde, so kann man doch, um die Stabilitätsunterfuchung der Gewölbkappen nicht zu verwickelt zu gestalten, mit für die Praxis hinreichender Genauigkeit annehmen, dass die einzelnen dünnen Wölbstreifen durch senkrechte Ebenen begrenzt sind, welche rechtwinkelig zur lotrechten Richtungsebene ON des Gratbogens stehen. Die einzelnen Gewölbstreifen bilden alsdann wiederum, wie beim Kappengewölbe in Fig. 121 (S. 138), einhüftige Gewölbe, welche ihr Widerlager am Grat und an den Randbogen oder Stirnmauern des Kreuzgewölbes finden. Somit tritt der Fall ein, dass sich zwei im allgemeinen verschieden gestaltete und belastete Gewölbstücke gegen ein besonderes Gewölbe, den Gratbogen, legen, welcher für dieselben ein gemeinschaftliches Widerlager abgiebt, während das andere Widerlager an einem besonderen Baukörper auftritt, mag derselbe nun geschlossen oder unter den Stirn-



Stabilitätsunterſuchung eines cylindriſchen K



reuzgewölbes mit Schwalbenſchwanzverband.

bogen des Gewölbes offen gehalten fein. Für den Grat werden fich demnach ähnliche Beziehungen geltend machen müffen, wie bei dem in Art. 79 (S. 154) behandelten Gurtbogen zwifchen Kappengewölben. Aber auch für den Gewölbfchub, welcher auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern von den einzelnen Wölbftreifen übertragen wird, werden die Vorausfetzungen, welche beim Kappengewölbe in Fig. 121 (S. 138) zur Sprache gebracht wurden, hier wiederum zu machen fein. Dies gilt hauptfächlich von der Fortpflanzung des Gewölbfchubes der über der Scheitellinie der Kappen zufammentretenden, gefchnäbelten Schichten. Hierfür eine Summierung der in der Scheitellinie durch Zerlegen der Schübe zu bildenden wagrechten Kräfte vorzunehmen, erfcheint ebenfo unftatthaft, wie bei jenem gewöhnlichen Kappengewölbe. Denn fchliefslich ift die Kappe des Kreuzgewölbes auch nur ein gewöhnliches Kappengewölbe. Dächte man fich die Widerlager, welche durch die Gratbogen als Begrenzung einer folchen Kappe gebildet werden, als ftabile Bogenftellung äufserft lang fortgeführt, fo gelangt man wiederum zu dem berechtigten Schluffe, dafs die einfache Summierung jener der Scheitellinie zugewiefenen wagrechten Kräfte einen Schub für den Randbogen von äufserft bedenklicher Gröfse liefern müfste, was in Rückficht auf das in Art. 62 (S. 137) Gefagte als unzuläffig angefehen werden darf. Aber auch fchon bei Kreuzgewölben von üblichen und durchaus nicht aufsergewöhnlichen Weiten würde durch die erwähnte Summierung jener Preffungen in der Scheitellinie eine Beanfpruchung der Randbogen in ihrer höchften Stelle wachgerufen, welche für die Durchbildung derfelben als felbftändige oder offene, nicht etwa noch übermäfsig durch Uebermauerung belaftete Stirn- oder Schildbogen (Gurtbogen) fo nachteilig würde, dafs die Einwölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanzverband beim Kreuzgewölbe ohne weiteres als vollftändig verwerflich hingeftellt werden müfste. Der Erfahrung nach ift jedoch die gefchilderte Beanfpruchung der als Gurtbogen durchgeführten Randbogen bei diefem Wölbverbande gar nicht fo gewaltig, dafs ihre Breite im Vergleich mit den übrigen Gewölbteilen unverhältnismäfsig grofs genommen werden müfste. Infolge hiervon find die mehrfach erwähnten, zu Fig. 121 (S. 138) gegebenen Erörterungen auch hier bei der Stabilitätsunterfuchung des Kreuzgewölbes am Platze.

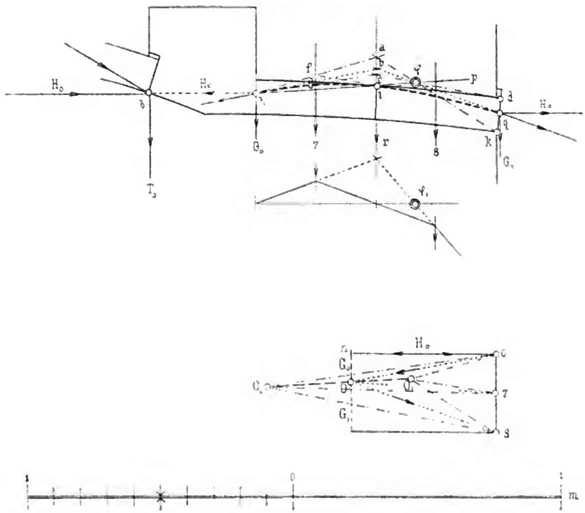
Demgemäfs ift zunächft ein von der Ecke *D* rechtwinkelig auf *ON* ftehender Wölbftreifen mit einer lotrechten Mittelebene *CED* in Betracht gezogen. Die Wölblinie des Streifens in diefer Mittelebene nebft dem lotrechten Schnitte des Gratbogens ift im Plane *I* und *II* unter Beachtung der Stechung, wie aus der Zeichnung zu erfehen, ausgetragen. Der Streifen *ED* überfchreitet die Scheitellinie *MN* der fchmalen Gewölbkappe in *U*. Wie in Art. 62 (S. 143) angegeben, foll der Teil *UD* auch hier als Nebenteil des Hauptteiles *EU* angefehen und wiederum angenommen werden, dafs diefem Nebenteile die Aufgabe zu Teil wird, den Gewölbfchub des Streifens in feiner Gefamtheit von *E* nach *D* innerhalb der Gewölbkappe zu übertragen. (Vergl. den Plan *II* in Fig. 121, S. 138.)

Die Stärke des Gewölbftreifens ift gleich $0{,}12$ m. Die Breite desfelben könnte beliebig gewählt werden. Da jedoch fpäter zur Beftimmung der Gewölbdicke ein Gewölbfchub für die Tiefe des Streifens gleich 1 m in Frage kommt, fo foll, da in Wirklichkeit eine Zone *ED* nur eine Backfteindicke gleich $0{,}065$ m befitzt, zunächft für die Tiefe gleich 1 m die ftatifche Unterfuchung angeftellt und danach die Gröfse der auf die Widerlager am Grat-, bezw. am Randbogen kommenden Gewölbfchübe für die Tiefe gleich $0{,}065$ m diefer Zone berechnet werden. Dementfprechend find die Flächen-, bezw. Gewichtswerte für *I* und *II* fo beftimmt, dafs die Bafis $oz = 0{,}40$ m gewählt und die Strecke zx in den zugehörigen Gewichtsplänen gleich 1 m beibehalten ift.

Bei den beiden fich gemeinfchaftlich gegen den Gratbogen legenden einhüftigen Gewölbftücken *I* und *II* wird das gröfsere Stück *I* im allgemeinen einen gröfseren Gewölbfchub auf den Gratbogen ausüben als das kleinere Stück *II*. Letzteres wird alfo die Rolle eines Strebe- oder Abfteifungsbogens für den Gratbogen übernehmen müffen, um fchliefslich einen von feinem Gewicht und der ihm vom gröfseren

Stücke *I* zugefügten Preſſung erzeugten Druck auf ſein Widerlager am Randbogen fortzupflanzen. Die zur Prüfung des Gleichgewichtszuſtandes des ganzen Streifenſyſtems erforderliche Unterſuchung wird durch diejenige des Stückes *I* eingeleitet. Eine im Sinne des in Art. 27 (S. 68) Geſagten angeſtellte Vorunterſuchung des einhüftigen Gewölbſtückes *I* giebt eine durch die Punkte *b*, *c* und *d* gehende, hier nicht weiter eingetragene Minimaldrucklinie, welche unterhalb *d* noch eben in der Gewölbfläche verbleibt. Der Gewölbdruck in *b* iſt bei dieſer Drucklinie gleich *a 6* des Gewichtsplanes *I*. Die lotrechte Seitenkraft dieſes Druckes iſt gleich T_0 und die wagrechte Seitenkraft desſelben iſt H_0. Die lotrechte Kraft, bezw. das Gewicht T_0 belaſtet in *b* den Gratbogen. Derſelbe tritt alſo mit als Träger dieſer Laſt auf. Die wagrechte Seitenkraft H_0 ſucht den Gratbogen ſeitlich zu verſchieben. Dieſem Verſchieben hat das Ge-

Fig. 198.



wölbſtück *II* nebſt dem Widerlager am Randbogen Widerſtand zu leiſten. In ihrer Richtung fortgeſetzt, trifft ſie die Widerlagsfläche, bezw. Widerlagsfuge des Stückes *II* am Gratbogen im Punkte *h*. Dieſes Stück *II* iſt vermöge ſeiner Geſtaltung, da dasſelbe im allgemeinen nicht aus zwei ſymmetriſchen Hälften mit ſymmetriſcher Belaſtung beſteht, wiederum ein einhüftiges Gewölbe. Für die ſtatiſche Unterſuchung desſelben ſind, außer ſeiner Form, ſein Gewicht und die wagrechte Seitenkraft H_0 eines in *h* wirkſamen Gewölbſchubes maßgebend, welcher für den Gleichgewichtszuſtand eine Mittellinie des Druckes hervorrufen muß, die innerhalb der Gewölbfläche verbleibt.

Um die Lage und Größe, bezw. Richtung dieſes in *b* thätigen Schubes zu finden, iſt, dem allgemeinen Wege entſprechend, welcher bei der ſtatiſchen Unterſuchung einhüftiger Gewölbe einzuſchlagen iſt, zunächſt eine Mittellinie des Druckes (Fig. 198) ermittelt, welche durch den Punkt *h*, einen Punkt *i* der Rückenlinie, d. h. einen Bruchfugenpunkt, welcher durch eine Vorunterſuchung feſtgelegt iſt und durch den tiefſten Punkt *k* der Widerlagsfuge am Randbogen geht. Hierbei iſt der durch *h* und *i* geführte Strahl *hp* als Polarachſe mit dem in bekannter Weiſe zu findenden Fixpunkt φ benutzt. Die

äufserften Seiten $a h$ und $a k$ gehören einem Seilpolygon für die Gewichte 7 und 8 mit der Refultierenden r an, welches durch die drei Punkte h, i und k geht. Zieht man im Gewichtsplane $o O_{,}$ parallel zu $a h$ und $8 O_{,}$ parallel zu $a k$, fo wird $O_{,}$ Schnittpunkt, fo dafs man in $o O_{,}$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in h und in $O_{,} 8$ Gröfse und Richtung des Gewölbdruckes in k erhält. Die mit Hilfe des Poles $O_{,}$ zu konftruierende Mittellinie des Druckes mit den Punkten h, i und k bliebe zwar innerhalb der Gewölbfläche; die wagrechten Seitenkräfte von $o O_{,}$, bezw. $O_{,} 8$ find aber kleiner als die vom Stücke I einwirkende wagrechte Kraft H_0, fo dafs beim Vorhandenfein der Gewölbdrücke $o O_{,}$ und $O_{,} 8$ im Stücke II das letztere nicht im ftande fein würde, dem Gewölbfchube des Stückes I zu widerftehen. Das Stück II mufs fähig erfcheinen, einen gröfseren Gewölbfchub aufzunehmen. Nimmt man zum Feftlegen eines gröfseren Gewölbfchubes den höchften Punkt d der Widerlagsfuge $d k$ des Stückes II unter Beibehaltung der Punkte h und i und der Polarachfe $h p$ zur Ermittelung einer neuen Mittellinie des Druckes an, welche nun durch die Punkte h, i und d gehen foll, fo erhält man in bekannter Weife, da bei diefer Ermittelung der Fixpunkt φ feine Lage nicht ändert, die Lage der gefuchten Gewölbfchübe in $d b$ und $b h$. Zieht man jetzt im Gewichtsplane $o O_{,,}$ parallel zu $b h$ und $8 O_{,,}$ parallel zu $d b$, fo wird $O_{,,}$ der Pol für ein durch die Punkte h, i und d für die Gewichte 7 und 8 zu legendes Seilpolygon, und man erhält in $o O_{,,}$ die Gröfse, bezw. den Sinn des Gewölbdruckes in h und in $O_{,,} 8$ den Gewölbdruck in d. Ob die Mittellinie des Druckes für diefe Gewölbdrücke innerhalb der Gewölbfläche bleibt oder diefelbe verläfst, ift hier gleichgültig, weil der Zeichnung nach die wagrechten Seitenkräfte von $o O_{,,}$ und $O_{,,} 8$ fchon viel gröfser als H_0 erfcheinen. Derart grofse Gewölbfchübe für das Stück II erfordert aber der Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftems nicht, weil diefelben nur folche Gröfse befitzen follen und auch nur nötig haben, bis ihre wagrechten Seitenkräfte genau der Kraft H_0 entfprechen.

Diefe noch unbekannten Gewölbfchübe findet man unter Anwendung eines bekannten Satzes der graphifchen Statik, wonach für die beiden Seilpolygone, welche in $h f i$ und $h g i$ in ihren erften beiden Seiten $h f$, $f i$, bezw. $h g$, $g i$ durch die feften Punkte h und i gehen, die Verbindungslinie $O_{,} O_{,,}$ der Pole $O_{,}$ und $O_{,,}$ ihrer zugehörigen und gleichen Kräftepolygone, hier die Gewichtsftrecke $O 8$, eine Parallele zu der durch h und i gelegten Polarachfe $h p$ fein mufs. Zieht man $O_{,} O_{,,}$, fo ift diefelbe thatfächlich parallel zu $h p$. Trägt man die wagrechte Linie $o n = H_0$ ab, fo fchneidet die durch n parallel zu $o 8$ geführte Gerade die Linie $O_{,} O_{,,}$ in O, und diefer Schnitt liefert den Pol eines dritten Seilpolygons, welches ebenfalls in feinen erften beiden Seiten durch die Punkte h und i gehen mufs, in feiner dritten Seite aber auch durch den Fixpunkt φ geht. Hiernach findet man nun ohne weiteres in $o O$ den gefuchten Gewölbfchub in h und in $O 8$ den Gewölbfchub, welcher für das Widerlager am Randbogen des Stückes II in Frage kommt.

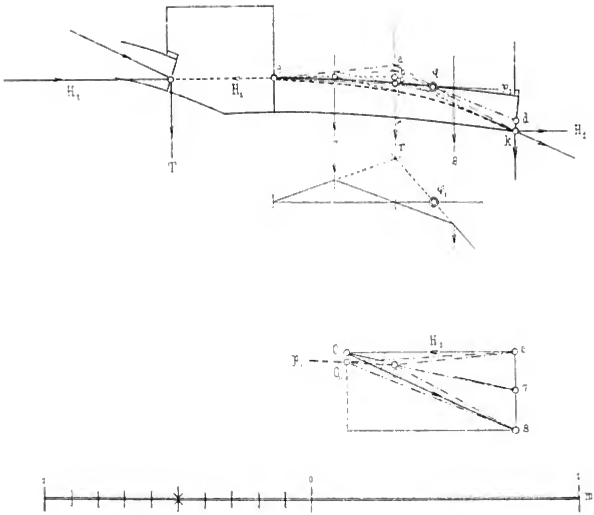
Wie leicht zu erkennen, hätte man auf Grund des erwähnten Satzes den Strahl $O_{,} O_{,,}$ parallel der Polarachfe $h p$ bereits ziehen können, nachdem die Polftrahlen $o O_{,}$ und $O_{,} 8$ für das durch h, i und k gehende erfte Seilpolygon den Pol $O_{,}$ feftgelegt hatten, fo dafs die Zeichnung des zweiten Seilpolygons für die Punkte h, i und d, bezw. die zugehörigen Polftrahlen $o O_{,,}$ und $O_{,,} 8$ erfpart werden konnte.

Zeichnet man unter Benutzung des Poles O eine Mittellinie des Druckes $h i q$, fo ergiebt fich, dafs diefelbe vollftändig innerhalb der Gewölbfläche des Stückes II verbleibt und dafs auch eine Gefahr hinfichtlich des Gleitens beim Verlaufe diefer Drucklinie nicht gekennzeichnet wird. Da nun in der Richtung von b nach h und umgekehrt von h nach b gleich grofse wagrechte Kräfte H_0 auftreten, welche wohl den Gratbogen in h und b preffen, aber nicht drehen können, fo ift das Syftem der Wölbftreifen im Gleichgewicht, vorausgefetzt, dafs auch der Gratbogen für fich dem Gleichgewichtszuftande entfprechend hergeftellt ift.

Sollte bei der ftatifchen Unterfuchung des gröfseren Gewölbftückes I, wie zuweilen der Fall, fich eine Mittellinie des Druckes ergeben haben, die nach der Tafel bei S. 230 mit einem Gewölbfchube in e übereinftimmt, deffen wagrechte Seitenkraft die Gröfse $H_{,}$ befitzt und, durch die Punkte e, c und d gehend, in e einen Punkt im Widerlager am Gratbogen enthält, welcher in einer Wagrechten $g e$ liegt, die durch den höchften Punkt g der Widerlagsfuge des Stückes II im Querfchnitte des Grates geführt werden kann, fo find offenbar g und e, wie auch b und h, Grenzpunkte für die Lage der Angriffspunkte von Gewölbfchüben, deren wagrechte Seitenkräfte von gleicher Gröfse in einer folchen wagrechten Linie in einander entgegengefetzter Richtung wirken und fomit für fich eine feitliche Ausweichung oder eine Drehung des Gratbogens nicht hervorrufen können. Sind diefe Grenzpunkte e und g einmal in Betracht zu ziehen, fo kann nach Fig. 199 die ftatifche Unterfuchung des Gewölbftückes II nach demfelben Verfahren, wie bei Fig. 198 befchrieben, vorgenommen werden. Hat man auch hierbei zunächft die neue Polarachfe $e p$, durch einen angenommenen Bruchfugenpunkt c geführt, fo ergiebt fich meiftens fchon bei der Zeichnung eines erften Seilpolygons mit den äufserften Strahlen $e a$ und $a k$ die Erkenntnis, dafs die mit diefem Seilpolygon in Abhängigkeit

ſtehende Mittellinie des Druckes eine Bruchfuge anzeigt, welche nicht nach c, ſondern oft und ſo auch hier äuſserſt nahe an den Punkt c fällt, ſo daſs die im vorliegenden Plane ſchon faſt wagrechte Polarachſe cp, und ebenſo der faſt wagrechte äuſserſte Strahl cb eines zweiten Seilpolygons cbd, welchem als Gewölbſchub in c die vorgeſchriebene wagrechte Seitenkraft H_1 zukommt, ſich überhaupt der wagrechten Richtung ſehr ſtark nähern. Alsdann kann man mit hinreichender Genauigkeit die Mittellinie des Druckes unter Benutzung eines in c ausſchlieſslich wagrecht liegenden Gewölbſchubes $H_1 = oO$ zeichnen und prüfen, ob dieſelbe dem geforderten Gleichgewichtszuſtande entſpricht. In Fig. 199 erfüllt dieſelbe als ck

Fig. 199.



dieſe Forderung. Wäre ſolches nicht der Fall, ſo muſs die Geſtaltung der Wölbſtreifen durch Abänderung der Stechungshöhe, bezw. der Stärke der Wölbſtreifen oder der Belaſtung derſelben einer neuen Anordnung unterzogen werden.

Genau ſo, wie die auf der Tafel bei S. 230 in der Richtung CD genommenen Wölbſtreifen I und II unterſucht ſind, werden auch alle übrigen Gewölbſtreifen auf ihre Stabilität geprüft. In der Zeichnung iſt noch der Streifen III näher berückſichtigt und das Erforderliche ſofort zu erkennen. Für den Streifen IV treten ähnliche Beziehungen auf, wie ſolche für den Streifen II ſich geltend machten.

Für die Berechnung der Gewölbſtärke wird ſelbſtredend derjenige Elementarſtreifen benutzt, deſſen Gewölbſchub die gröſste wagrechte Seitenkraft liefert. Auf der Tafel iſt der Streifen I als ſolcher anzuſehen. Für denſelben iſt $H_0 = 0{,}53$ m gefunden. Da die Baſis $oz = 0{,}40$ m gewählt, die Tiefe des Gewölbſtreifens für die ſtatiſche Unterſuchung gleich 1 m angenommen war, ſo ergiebt ſich der für die Gewölbſtärke maſsgebende Wert zu

$$H_0 = 0{,}53 \cdot 0{,}4 = 0{,}212 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Nach der Tabelle auf Seite 62 iſt für $H = 0{,}2$ eine Gewölbſtärke von $^1/_2$ Stein gleich $0{,}12$ cm erforderlich.

Diefe Stärke kann nun auch für $H_0 = 0{,}212$ hier beibehalten werden. Der Normaldruck für die Widerlagsfuge am Randbogen bei D ergiebt fich, da N_0 nach dem Gewichtsplane I gleich 1 m ift, als

$$N_0' = 1 \cdot 0{,}4 = 0{,}4 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Für diefen Wert reicht alfo nach jener Tabelle die Gewölbftärke von ½ Stein ebenfalls aus.

Um die Kräfte zu beftimmen, welche bei den auf Schwalbenfchwanzverband eingewölbten Kreuzgewölben auf die Randbogen, bezw. Stirnmauern kommen, hat man wie bei den gewöhnlichen Kappengewölben nach den Angaben zu Fig. 121 (S. 138) zu verfahren. Hier wäre z. B. die wagrechte Seitenkraft der bei M zufammentretenden Wölbfchichten III und III_1 nach dem Gewichtsplane III und IV auf der Tafel für die Tiefe gleich 1 m diefer Streifen, da H zu 0,35 m gemeffen ift,

$$H = 0{,}35 \cdot 0{,}4 \cdot 1 = 0{,}14 \text{ cbm}.$$

Da 1 cbm Backfteinwölbung 1600 kg wiegt, fo ift $H = 324$ kg. Der Elementarftreifen III ift aber nur 0,065 m (Backfteindicke) breit; mithin kommt für denfelben ein wagrechter Schub von $324 \cdot 0{,}065 = \backsim 21$ kg in Rechnung. Derfelbe Schub wird vom Streifen III_1 nach M gebracht. Beide fetzen fich, wie in der Zeichnung angegeben, zu einer wagrechten Mittelkraft zufammen, deren Gröfse im vorliegenden Falle, da der Winkel $OML = 30$ Grad ift, ebenfalls 21 kg betragen würde. Beftimmt man, wie fchon früher in Art. 62 (S. 137) in ausreichender Weife erörtert, die auf die Randbogen kommenden, aus den Elementarftreifen refultierenden Kräfte, ermittelt die Höhenlagen ihrer Angriffspunkte über der Kämpferebene mit Hilfe der feftgelegten Stirnlinien des Kreuzgewölbes, fo kann man fich leicht ein Bild von der Beanfpruchung der Randbogen derartiger, auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführter Gewölbe verfchaffen, foweit folches für die Praxis erforderlich ift. Die Beanfpruchungen der Gratbogen durch die lotrechten und wagrechten Seitenkräfte der Gewölbfchübe der einzelnen Streifen werden unmittelbar bei den ftatifchen Unterfuchungen, wie aus den Gewichtsplänen auf der Tafel bei S. 230 zu erkennen ift, mit klargelegt.

β) Stärke der Gratbogen.

Die Stabilitätsunterfuchung der Gratbogen der cylindrifchen Kreuzgewölbe, mögen diefelben auf Kuf- oder auf Schwalbenfchwanzverband zu wolben fein, läfst fich immer unter Benutzung der Grundlagen ausführen, welche für die ftatifche Unterfuchung der Tonnengewölbe mafsgebend waren. 134. Kreuzgewölbe mit Kufverband.

Sind die von den Kappen auf die Gratbogen überführten Gewölbdrücke bekannt geworden, ift das Gewicht der Gratbogen, einfchliefslich einer etwa vorhandenen Belaftung durch Uebermauerung oder durch Einzellaften u. f. w., beftimmt, fo läfst fich, diefen äufseren, die Gratbogen angreifenden Kräften entfprechend, ein den Gleichgewichtszuftand bewirkendes Syftem von inneren wachgerufenen Kräften ermitteln und danach die Stärke, bezw. der Querfchnitt der Gratbogen feftftellen.

Bei den auf Kuf gewölbten Kappen werden die auf die Gratbogen ausgeübten Gewölbdrücke nach gehöriger Vereinigung und dann nach entfprechender Zerlegung bei regelrechter Geftaltung des Gewölbes im allgemeinen lotrechte und wagrechte Kräfte liefern, welche, wie in den in Art. 129 u. 130 angeführten Beifpielen 1 u. 2 gezeigt ift, in der lotrechten Richtungs- oder Kräfteebene des zugehörigen Gratbogens liegen.

Bei den auf Schwalbenfchwanzverband ausgeführten Kreuzgewölben find die wagrechten Seitenkräfte jener Gewölbdrücke, wie aus dem in Art. 133 gegebenen Beifpiele 3 zu entnehmen ift, bei einer fachgemäfsen Anordnung der cylindrifchen Laibungsflächen für fich im Gleichgewicht, fo dafs für den Gratbogen alsdann nur die lotrechten Seitenkräfte feiner Gewölbdrücke in Betracht zu ziehen find.

Für das in Art. 129 (S. 223) bezeichnete Kreuzgewölbe mit Kufverband ift in der umftehenden Tafel die Stabilitätsunterfuchung für den aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,1 t für 1 cbm herzuftellenden Gratbogen G auf graphifchem Wege vorgenommen. Derfelbe bildet die Hälfte eines fymmetrifch geftalteten und

ſymmetriſch durch lotrechte und wagrechte Kräfte beanſpruchten Diagonalbogens, tritt alſo als die Hälfte eines einfachen, ſchmalen Tonnengewölbes auf, deſſen Gewölbſchub in einer angenommenen Scheitelfuge eine wagrechte Lage in der Kräfteebene beſitzt.

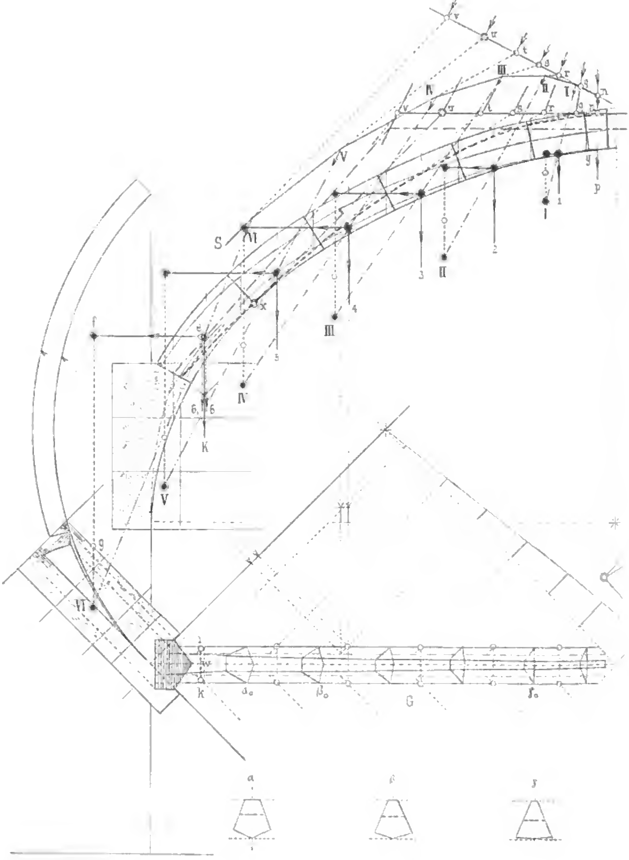
Zunächſt iſt nach Ausmittelung der inneren Wölblinie des Gratbogens mit Hilfe des grundlegenden Halbkreiſes und der angenommenen Stechungshöhe, ſowie nach Beſtimmung der Normalſchnitte α, β, γ, deren wagrechte Projektionen α_0, β_0, γ_0 ſind, das Gewicht der einzelnen Teilſtücke des Grates im Plane *A* graphiſch dargeſtellt.

Für dieſe Darſtellung ſind die Teilſtreifen im Anſchluſſe an die Zerlegung der am Grat zuſammentreffenden beiden Gewölbkappen in ihre Elementarſtreifen entſprechend begrenzt genommen. Dieſe Einteilung in Streifen iſt aus dem Grund- und Aufriſs des Gratbogens zu erſehen. Sie beſtimmt im Abſtande ihrer Teillinien die Breite der Gratſtücke, wonach die mittlere Höhe derſelben in bekannter Weiſe aus dem Aufriſs zu entnehmen iſt. Die Gratbogenſtücke ſind ſeitlich durch die Widerlagsflächen der Elementarſtreifen der Kappen begrenzt. Die geraden Erzeugenden dieſer Flächen gehören den verſchiedenen Normalebenen des Gratbogens an; ſie beſitzen verſchiedene Neigungen zur Wagrechten, und infolge hiervon iſt die mittlere Dicke der Gratbogenſtücke gleichfalls voneinander abweichend. Die Normalſchnitte α, β, γ u. ſ. f. dienen zur Ausmeſſung der einzelnen mittleren Dicken. Da endlich das Eigengewicht des Grates $2_{,4}$, das Eigengewicht des Wölbmaterials aber $1_{,6}$ beträgt, ſo iſt auch das Gewicht der Teilſtücke des Grates auf das Eigengewicht des Wölbmaterials zurückzuführen, damit ohne weiteres, neben Gleichartigkeit in der Behandlung der zu verwertenden Kräfte, die ſchon auf der Tafel bei S. 223 erhaltenen Gewölbdrücke der Elementarſtreifen, alſo auch die für den Grat beſtimmten reſultierenden wagrechten und lotrechten Seitenkräfte derſelben in Benutzung zu nehmen ſind. Nach den Erörterungen zu Fig. 197 (S. 225) iſt im Plane *A* die Strecke $oc = 1_{,60}$ m, die Strecke $od = 2_{,40}$ m aufgetragen und ſonſt ganz nach dem in Art. 130 (S. 223) gegebenen, unter Beibehaltung der Baſis $oz = 0_{,50}$ m, die Ermittelung der Gewichtsſtrecke $o6$ vorgenommen. Vereinigt man nun zunächſt die reſultierenden lotrechten Seitenkräfte der Kappendrücke mit dem Gewichte der zugehörigen Gratſtücke, ſo erhält man die Mittelkraft aller am betreffenden Gratſtücke lotrecht wirkenden Kräfte. So wirkt z. B. das Gewicht 6, gleich der Strecke 56, in der Mittellinie des letzten Teilſtückes; die Gewölbdrücke der zugehörigen Kappenſtreifen greifen in i, bezw. k an; das reſultierende Gewicht $6_{,}$, gleich der Strecke $66_{,}$, aus beiden Drücken hat ſeinen Angriffspunkt in der Mitte w von ik in der Kräfteebene des Grates. Bei dieſem Stücke iſt, da ik nicht mit der mittleren lotrechten Teillinie desſelben zuſammenfällt, die Mittelkraft K, gleich der Strecke $56_{,}$, ihrer Lage nach noch näher beſtimmt, was bei den übrigen Teilſtücken hier nicht nötig wird.

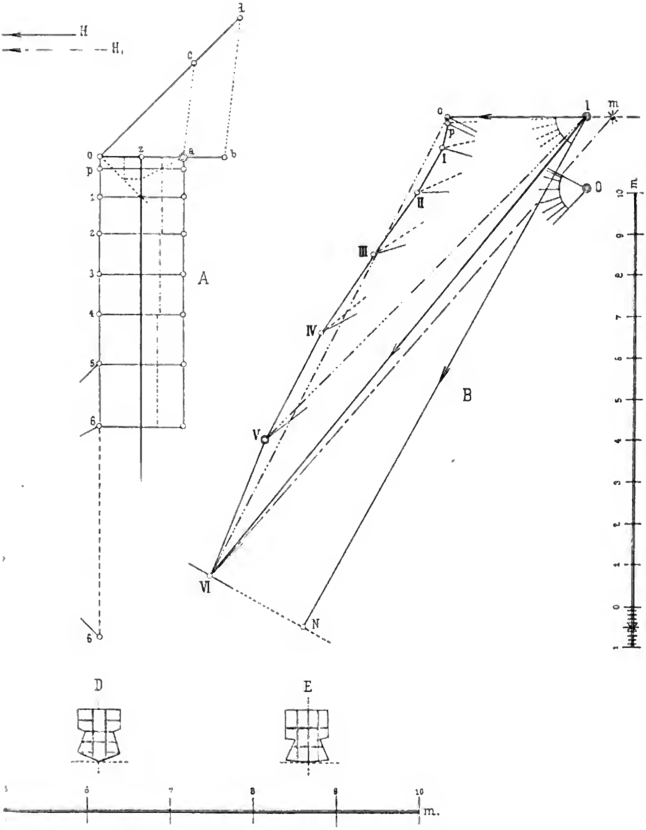
Setzt man dieſe lotrechten Mittelkräfte eines jeden Stückes mit den reſultierenden wagrechten Seitenkräften der Gewölbdrücke, welche aus den zugehörigen Elementarſtreifen der Kappen entſpringen, zuſammen, was leicht möglich iſt, da auch dieſe wagrechten Kräfte in der Kräfteebene des Grates liegen, auſserdem bei der ſtatiſchen Unterſuchung jener Elementarſtreifen vollſtändig nach Lage, Gröſse und Sinn bekannt geworden ſind (vergl. die Tafel bei S. 223), ſo erhält man nunmehr für jedes Gratſtück die für die Stabilitätsunterſuchung in Rechnung zu ſtellende Hauptreſultierende. So iſt z. B. ef die reſultierende wagrechte Kraft der Gewölbſtreifen für das letzte Teilſtück des Grates. Da die lotrechte Reſultierende $K = 56_{,} = fg + gVI$ gefunden iſt, ſo giebt das Kräftedreieck $efVI$ in eVI die Hauptreſultierende für dieſes Stück. In gleicher Weiſe iſt für die übrigen Teilſtücke, wie in der Zeichnung deutlich hervorgehoben iſt, jede zugehörige Hauptreſultierende feſtgelegt.

Beim erſten höchſten Teilſtücke des Gratbogens iſt im vorliegenden Falle keine wagrechte und keine lotrechte Kraft von den Elementarſtreifen vorhanden, ſo daſs nur eine lotrechte Kraft p gleich der Strecke op als Gewicht dieſes Gratſtückes im Schwerpunkte desſelben wirkend auftritt.

Trägt man die gefundenen Hauptreſultierenden op, pI, III u. ſ. f. bis VI zu einem Kräftezuge oVI, wie hier im Plane *B*, jedoch unter Benutzung eines kleineren, ſonſt beliebig gewählten Maſsſtabes geſchehen, zuſammen, zeichnet man unter Annahme eines Poles *O* das Seilpolygon *S* für jene Kräfte, ſo läſst ſich genau ſo, wie für lotrecht gerichtete Kräfte, eine Mittellinie des Druckes für den Gratbogen darſtellen. In der Zeichnung iſt der höchſte Punkt der Fuge y als Angriffspunkt eines etwa möglich kleinſten wagrechten Gewölbſchubes angenommen. Die mit dem gefundenen Horizontalſchube H, gleich der Strecke Io, im Plane *B* gezeichnete Mittellinie des Druckes zeigt im Punkte x eine Bruchfuge an, bleibt aber in ihrem Verlaufe ganz innerhalb der Kräftefläche des Gratbogens. Da auch keine Gefahr gegen Gleiten ſich erkennbar macht, ſo iſt der gewählte Gratbogen ſtandfähig. Wollte man eine Mittel-



Stabilitätsunterfuchung des Gratbogens eine:



cylindrifchen Kreuzgewölbes mit Kufverband.

linie des Druckes eintragen, welche thunlichst durch die Mitten der Teilfugen des Grates geht, so würde dieser ein Horizontalschub H, zukommen.

Die für die Bestimmung der einzelnen Drucklinien eintretenden, durch Zeichnung zu schaffenden Gebilde sind aus der Tafel zu ersehen.

Nach Ausmessung der Kraftstrecke lo und der für den Normaldruck der Widerlagsfuge entstehenden Kraftstrecke lN des Planes B läfst sich bei einer gewählten Breite des Gratbogens seine Stärke (Höhe) berechnen.

Wäre der Gratbogen aus Backstein ausgeführt, so hätte man, da $lo = 3{,}40$ m und die Basis nach wie vor $0{,}50$ m beträgt, bei einer Breite von 2 Stein gleich $0{,}51$ m den Gewölbschub $\mathfrak{H}_0$, bezogen auf eine Tiefe (Breite) des Gratbogens von der Längeneinheit (1 m), sofort als

$$\mathfrak{H}_0 = 3{,}40 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 3{,}33 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Diesem Werte entspricht nach der Tabelle auf S. 62 eine Gewölbstärke von 2 Stein in genügender Weise, so dafs die Anordnung des Grates nach D und E in der Zeichnung erfolgen könnte. Der Normaldruck $\mathfrak{N}_0$ ergiebt sich, da $lN = 14$ m gefunden ist, als

$$\mathfrak{N}_0 = 14 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}51} = 13{,}71 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

In jener Tabelle überschreitet dieser Wert den bei einer Stärke von 2 Stein aufgeführten Normaldruck N von $11{,}07$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met., so dafs bei einem Gratbogen aus Backstein bei dem hier untersuchten Gewölbe mit quadratischem Grundrifs und $8{,}00$ m Spannweite eine Verstärkung um $\frac{1}{2}$ Steinlänge vom Scheitel nach dem Widerlager angezeigt ist.

Der Gratbogen soll aber aus Quadermaterial vom Eigengewicht $2{,}4$ bestehen. Die durchschnittliche mittlere Breite oder die Dicke desselben, welche jetzt in Rechnung kommt, ist jedoch nach den Normalschnitten α, β, γ nur gleich $0{,}30$ m. Für die Berechnung der Stärke des Gratbogens sind die Linienwerte $lo = 3{,}40$ m und $lN = 14$ m des Planes B mafsgebend. Dieselben sind jedoch unter Zurückführung des Eigengewichtes $2{,}4$ des Quadermaterials auf $1{,}6$ des Wölbmaterials erhalten. Aus diesem Grunde ist die Ermittelung des wagrechten Druckes $\mathfrak{H}_1$ im höchsten Punkte der Scheitelfuge y und des Normaldruckes $\mathfrak{N}_1$ in der Widerlagsfuge über dem Anfänger des Grates unter Berücksichtigung des Verhältnisses von $1{,}6 : 2{,}4$ vorzunehmen. Danach erhält man, da die Basis $oz = 0{,}50$ m unverändert bleibt, jetzt

$$\mathfrak{H}_1 = 3{,}40 \cdot \frac{1{,}60}{2{,}40} \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 3{,}77 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N}_1 = 14 \cdot \frac{1{,}60}{2{,}40} \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}30} = 15{,}55 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Setzt man in Gleichung 45 (S. 45) statt H den Wert $\mathfrak{H}_1$, so ergiebt sich die gesuchte Stärke des aus Quadern anzufertigenden Gratbogens als

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 3{,}77)\, 3{,}77} = 0{,}43 \text{ m},$$

und führt man in Gleichung 51 (S. 46) für N die Gröfse $\mathfrak{N}_1$ ein, so erhält man

$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 15{,}55)\, 15{,}55} = 0{,}50 \text{ m}.$$

Auch hiernach ist die Vornahme einer allmählichen Verstärkung des Gratbogens vom Scheitel nach dem Widerlager zweckmäfsig.

In der Zeichnung war die Stärke des Gratbogens schätzungsweise zu $0{,}50$ m angenommen. Die Rechnung erfordert keine Vermehrung derselben, so dafs die statische Untersuchung des Grates abgeschlossen werden kann.

In gleicher Weise würde auch die Bestimmung der Gratstärke für ein Kreuzgewölbe mit rechteckigem Grundrifs und Einwölbung auf Kuf getroffen werden können. Bei der Einwölbung der Kappen auf Schwalbenschwanzverband bleiben die Grundlagen für die statische Untersuchung der Gratbogen ebenfalls bestehen. Nur ist hierbei zu beachten, dafs, wie früher bereits bemerkt, von den einzelnen Gewölbstreifen der Kappen, also hier der an einem und demselben Grat liegenden 135. Kreuzgewölbe mit Schwalbenschwanzverband

Kappenhälften, im allgemeinen auf den Gratbogen nur lotrecht wirkende Belaftungen, wie z. B. T_0 und G_0 auf der Tafel bei S. 230, übertragen werden, welche alsdann mit dem Gewichte G des zugehörigen Gratftückes unmittelbar zu einer lotrecht wirkenden Refultierenden W zufammenzufetzen find. Durch eine leicht zu treffende Geftaltung der Querfchnittsfläche des Gratbogens und der damit verbundenen Schwerpunktslage desfelben ift dahin zu ftreben, dafs die fämtlichen derartigen Refultierenden für alle Teilftücke in eine und diefelbe lotrechte Ebene innerhalb des Grates fallen, welche alsdann die Kräfteebene des Gratbogens bildet.

136. Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Sind bei Kreuzgewölben von geringer Weite befondere Gratbogen nicht vorhanden, fo ift offenbar auch keine Stabilitätsunterfuchung für einen Grat vorzunehmen. Wohl aber machen fich in der Ebene des Zufammenfchnittes der Kappen, alfo in der Ebene der Gratlinie, Kräfte der Elementarftreifen der Kappen in ähnlicher Weife geltend, wie bei den Kreuzgewölben mit befonderen Gratbogen. Diefe Kräfte find bei der Beftimmung der Widerlagsftärke der Gewölbe ohne felbftändigen Grat ebenfo in Betracht zu ziehen, wie bei den mit Gratbogen verfehenen Kreuzgewölben.

γ) Stärke der Widerlager.

137. Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

Bei den offenen Kreuzgewölben find die Stirnmauern durch Oeffnungen freigehalten, welche unterhalb des Randbogens der Kappen mit Gurtbogen abgefchloffen werden, deren Wölblinien den Stirnlinien des Gewölbes meiftens entfprechend gekrümmt gewählt werden. Die Gurtbogen finden mit den Kreuzgewölben felbft ein gemeinfchaftliches Widerlager an den Eckpfeilern des überwölbten Raumes. Diefe Eckpfeiler find die Stützkörper des Wölbfyftems. Die Stärke derfelben hängt bei den offenen Kreuzgewölben alfo gleichzeitig von den Gewölbdrücken der ihnen zugewiefenen Gurtbogen und von den in den Gratbogen der Kreuzgewölbe wirkenden Gewölbfchüben ab. Die Vereinigung diefer beiden Gruppen von Kräften mit dem Gewichte der Widerlagspfeiler bildet den Ausgangspunkt für die ftatifche Unterfuchung und Beftimmung der Stärke diefer Stützkörper. Die mafsgebenden Grundlagen für folche Unterfuchungen find bereits in Art. 24 (S. 57) beim Tonnengewölbe gegeben. Die Anwendung derfelben bei den Widerlagern der offenen cylindrifchen Kreuzgewölbe foll auf der nebenftehenden Tafel gezeigt werden. Das hier gewählte Kreuzgewölbe entfpricht in feinen Abmeffungen und Anordnungen der in Art. 129 (S. 223) als Beifpiel 1 gegebenen Gewölbanlage. Die halbkreisförmigen Gurtbogen G_0 famt ihrer Aufmauerung follen aus Quadermaterial vom Eigengewicht 2,4 beftehen, wie folches auch für die Gratbogen jenes Gewölbes vorgefehen war.

Zuerft ift im Plane A der nebenftehenden Tafel, unter Einführung einer beliebig gewählten Bafis $oz = 3$ m, der feften Länge $zv = 1$ m und der Tiefe $vw = 0{,}80$ m der beiden gleichen und gleich belafteten Gurtbogen G_0 von je 6 m Spannweite, die Gewichtsftrecke oQ einer Hälfte diefer fymmetrifch geformten und belafteten Tonnengewölbe bis zu der durch p geführten Lotrechten py ermittelt. Sodann ift in bekannter Weife der Horizontalfchub H_0 im höchften Punkte der Scheitelfuge, bezw. der Gewölbfchub S, welcher auf die Widerlagsfuge am Anfänger des Gurtbogens kommt, beftimmt. Berechnet man die Stärke des Gurtbogens, fo ergiebt fich, da $ao = H_0 = 1{,}25$ m mifst, der in Gleichung 45 (S. 45) für H einzufetzende Wert

$$H_0 = 1{,}25 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = \sim 4{,}7 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Hiernach wird

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 4{,}7)\, 4{,}7} = \sim 0{,}48 \text{ m.}$$

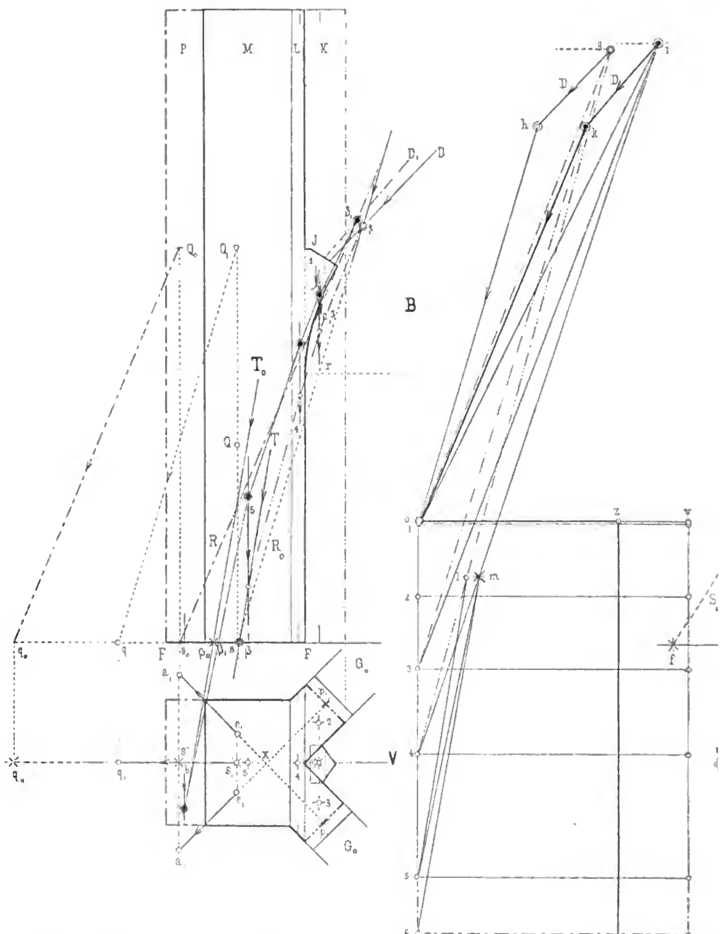
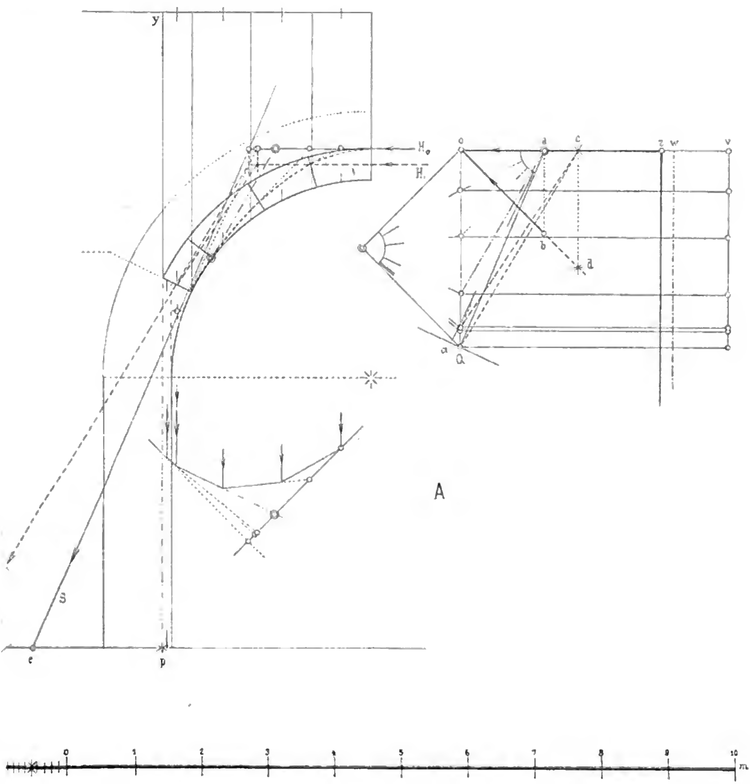

P
M
L
K
J
B
D
D₁
T₀
T
R
R₀
F
F
V
G₀
G₀
z
v
f
m
S

Fig. 238.



Stabilitätsunterſuchung des Widerlagers für ein cylindriſches Kreuzgewölbe mit Gratbogen.

Für den Normaldruck in der Widerlagsfuge ist $a\alpha = 3{,}20$ m bestimmend. Man erhält

$$N_0 = 3{,}20 \cdot 3 \cdot \frac{1}{0{,}80} = 12 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Für N in Gleichung 51 (S. 46) diese Zahl 12 eingesetzt, giebt

$$d_{,} = \frac{1}{180}\sqrt{(540 - 12)\,12} = 0{,}44 \text{ m}.$$

Der Gurtbogen ist also 0,44 m stark zu nehmen. In der Zeichnung war auf Grund einer nach Art. 19 (S. 50) geführten Voruntersuchung diese Stärke angenommen.

Der Gewölbschub S, abhängig von dem hier möglichen kleinsten Horizontalschube H_0, nimmt einen kleinsten noch zulässigen Grenzwert an. Gehörig erweitert schneidet die Richtung von S die Grundebene pf des Stützkörpers in e im Abstande pe von der Lotrechten py. Für die Bestimmung der Widerlagsstärke ist nach Art. 23 (S. 59) aber dieser Gewölbschub besser abhängig zu machen von einem Horizontalschub H_1, welcher im Mittelpunkte der Scheitelfuge angreift und mit der Belastung des Gurtbogens eine Resultierende S_1 erzeugt, welche durch den Mittelpunkt der Kämpferfuge geht. Auch dieser Gewölbschub $S_1 = c\,Q$ für den Horizontalschub $H_1 = co$ ist auf der nebenstehenden Tafel bestimmt. Derselbe trifft die Grundebene pf des Widerlagskörpers im Punkte f.

Jeder der beiden Gurtbogen G_0 liefert also als Beanspruchung des Eckpfeilers des Kreuzgewölbes diese Gewölbschübe S, bezw. S_1. Werden zunächst die beiden Gewölbschübe S betrachtet, so liegen ihre Angriffspunkte in der Grundebene des Eckpfeilers nach dem Plane B der nebenstehenden Tafel je für sich in den Punkten $e_{,}$ ihrer Kräfteebenen, und $p_{,}e_{,}$ ist gleich pe des Planes A. Die lotrecht durch $e_{,}$ gerichtete Seitenkraft des Schubes S ist gleich dem Gewichte $o\,Q$ und die wagrecht in $e_{,}$ nach $e_{,}a_{,}$ gerichtete Seitenkraft von S ist gleich $H_0 = a\,o$. Setzt man die beiden lotrechten und gleich großen Seitenkräfte $o\,Q$ der Schübe S beider Gurtbogen zu einer Mittelkraft gleich $2\,o\,Q$ zusammen, so liegt ihr Angriffspunkt im Halbierungspunkte $s_{,}$ der Geraden $e_{,}e_{,}$ und weiter in der Richtung der lotrechten Kräfteebene V des Gratbogens des Kreuzgewölbes. Setzt man ferner die beiden wagrechten Seitenkräfte $H_0 = a\,o$ in x in der Grundebene des Eckpfeilers zu einer Mittelkraft zusammen, so liegt dieselbe gleichfalls in der Ebene V. Die Gröfse dieser Mittelkraft findet man einfach als $b\,o$ des Kräftedreieckes $b\,a\,o$, worin $b\,a = a\,o = H_0$ ist. Verlegt man den Angriffspunkt x dieser Mittelkraft in ihrer Richtung nach $s_{,}$ und setzt man zum Schlufs $s_{,}q_{,} = s\,q = b\,o$ mit $s\,Q_{,} = 2\,o\,Q$ zu einer Mittelkraft $Q_{,}q$ im Plane B zusammen, so erhält man in dieser Mittelkraft, welche wiederum in der Kräfteebene V des Gratbogens liegt, der Gröfse und dem Sinne nach den Druck, welcher von den beiden Gurtbogen G_0 auf den Eckpfeiler des Kreuzgewölbes kommt. Dieser Druck ist in seiner Abhängigkeit vom kleinsten möglichen Horizontalschub H_0 ebenfalls am kleinsten.

Genau so ist unter Benutzung des gröfseren Horizontalschubes $c\,o = H_1$ der gröfsere resultierende Druck $Q_0\,q_0$ zu bestimmen. Für denselben ist $s_0\,q_0 = d\,o$ des Planes A und $s_0\,Q_0$ wiederum gleich $2\,o\,Q$. Da der Angriffspunkt des Druckes $Q_{,}q$ in $s_{,}$ der Grundfläche des Eckpfeilers liegt, die lotrechte Projektion dieses Punktes in s erhalten wird, so giebt der durch s parallel zu $Q_{,}q$ gezogene Strahl R_0 die wirkliche Lage jenes Druckes in der Kräfteebene V.

Für den gröfseren Druck $Q_0\,q_0$ ist der Angriffspunkt $s_{,,}$ in der Grundfläche der Mittelpunkt der geraden Linie $a_{,}a_{,}$, wofür $f_{,}a_{,} = pf$ des Planes A sein mufs. Die lotrechte Projektion s_0 des Angriffspunktes ist ein fester Punkt für die zu $Q_0\,q_0$ parallel gezogene Gerade R, welche gleichfalls die wirkliche Lage des gröfseren Druckes $Q_0\,q_0$ in der Kräfteebene V bestimmt. In dieser Ebene herrscht nun weiter der von den Gewölbkappen auf ihren zugehörigen Grat übertragene gesamte Druck, welcher schliefslich vom Gratbogen auf den Eckpfeiler weiter geführt wird.

Nach den zur Tafel gehörigen Ermittelungen kann zunächst wieder der gefundene kleinere vom Gratbogen auftretende Druck D und sodann der gröfsere am Gratbogen bestimmte Druck $D_{,}$ in Betracht gezogen werden.

Nach dem Plane B auf der Tafel bei S. 236 ist D mit Hilfe der Kraftstrecke $IV\,I$, dagegen $D_{,}$ unter Verwertung der Strecke $m\,VI$ festzulegen. In jener Abbildung ist $IV\,I = 14{,}40$ m und die Basis $o\,z = 0{,}50$ m, mithin die Kraftstrecke mit einer Mafszahl $14{,}40 \cdot 0{,}50 = 7{,}20$ behaftet. Dort waren die Gewichte auf Wölbmaterial vom Eigengewichte 1,6 zurückgeführt.

Bei der jetzt anzustellenden Untersuchung ist jedoch Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 zu berücksichtigen. Hiernach ist also die Mafszahl 7,20 durch Multiplikation mit $\frac{1{,}6}{2{,}4}$ als $7{,}20 \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 4{,}80$ für Quadermaterial zu erhalten. Da endlich in der nebenstehenden Tafel die Basis zu 3 m festgelegt war, so ergiebt sich die im Kräfteplane B einzutragende Kraftstrecke D zu $\frac{4{,}80}{3} = 1{,}60$ m gleich der Strecke $g\,h$.

Für die gröfsere Kraftstrecke D_1, gleich der Strecke ik, findet man die zugehörige Mafszahl, da mVI im Plane B der Tafel bei S. 236: 14,7 m mifst, nunmehr durch den Ausdruck

$$D_1 = 14{,}70 \cdot \frac{0{,}50}{3} \cdot \frac{1{,}6}{2{,}4} = 1{,}63 \text{ m}.$$

Unter Benutzung der Neigungswinkel $olVI$, bezw. $omVI$ zur Wagrechten und der Lage der Angriffspunkte der Drücke lVI, bezw. mVI in der Widerlagsfuge am Anfänger des Gratbogens auf der genannten Tafel sind die Drücke D und D_1 für sich eingetragen. Aus der Zusammensetzung von $D = gh$ und $K_0 = ho$ in $\mathfrak{z}$ des Planes B erhält man go als kleineren Gesamtdruck für den Eckpfeiler, während durch die Zusammensetzung von $D_1 = ik$ und $K = ko$ in $\mathfrak{z}$, der gröfsere Gesamtdruck für diesen Pfeiler durch io dargestellt wird.

Nach der Ermittelung dieser Drücke kann nun die Stabilitätsuntersuchung des Eckpfeilers, welcher hier gleichfalls aus Quadermaterial vom Eigengewichte 2,4 bestehen soll, ganz nach dem in Art. 24 (S. 57) Gegebenen unter Berücksichtigung der aus der Zeichnung zu ersehenden Streifenteilung und Gewichtsbestimmung derselben ohne weitere Schwierigkeiten vorgenommen werden.

Für den kleineren Druck D tritt der Teilstreifen M als Grenzstreifen ein. Das Gewicht desselben ist zur Vermeidung einer zu langen Kräftestrecke in ein Viertel seiner wirklichen Länge als Strecke 45 dargestellt. Um dennoch die fehlerlose Richtung der Mittelkraft T aus dem Kräftezuge gh, ho, $o5$ zu erhalten, ist $l4$ gleichfalls ein Viertel der Länge des Strahles $g4$ zu nehmen. Der Strahl $l5$, welcher für den ihm parallelen Strahl T bestimmend wird, giebt jene Mittelkraft in ein Viertel ihrer Gröfse an. Diese Endresultierende schneidet die Fufsfläche des Eckpfeilers im umringelten Punkte $\mathfrak{z}$. Derselbe liegt von der Aufsenkante des Streifens M so weit ab, dafs, wenn die Grundfläche des Pfeilers hier näherungsweise als ein Rechteck angesehen wird, der Punkt $\mathfrak{z}$ eben an der Grenze des sog. inneren Drittels dieses Rechteckes bleibt. Für den kleinsten Druck D würde also der Eckpfeiler mit den Teilstreifen K, L und M als standfähig gelten können.

Für den gröfseren Druck D_1 dagegen, welcher zur Herbeiführung eines üblichen Sicherheitsgrades für die Standfähigkeit dieses Eckpfeilers als wirksam angesehen werden soll, genügt die eben ermittelte Stärke nicht mehr in dem Mafse, dafs eine Endresultierende $5\mathfrak{z}$, parallel $m5$, innerhalb jenes inneren Drittels bleibt. Danach ist noch eine neuer Teilstreifen P hinzuzufügen. Das Gewicht desselben ist als Strecke 56 wiederum in ein Viertel der wirklichen Länge gezeichnet, und ebenso ist $m4$ gleich ein Viertel der Länge $i4$. Die Endresultierende für den Kräftezug ik, ko, $o6$ ist nunmehr das Vierfache von $m6$. Ihre Lage T_0 parallel $m6$ im Pfeiler ist leicht zu bestimmen. Diese Resultierende trifft die Fufsfläche desselben im Punkte $\mathfrak{z}_0$, welcher das innere Drittel des neuen Pfeilers mit den Teilstreifen K, L, M und P nicht überschreitet, so dafs hiermit die Pfeilerstärke bestimmt ist. Die Breite FF beträgt 2,10 m.

Die Spannweite des Diagonalbogens ist bei dem quadratischen Grundrifs des hier untersuchten Kreuzgewölbes von 8 m Seitenlänge gleich $8\sqrt{2} = \infty\, 11{,}30$ m; folglich ergiebt sich das Verhältnis der Widerlagsstärke zu dieser Weite des ganzen Gratbogens zu $\frac{2{,}10}{11{,}30}$ als nahezu gleich $\frac{1}{5}$. Beim kleineren Drucke D ist die Widerlagsstärke gleich 1,50 m, so dafs nun jenes Verhältnis in $\frac{1{,}50}{11{,}30}$, d. h. in $\frac{1}{7{,}5}$ umgewandelt würde.

Bei dieser Angabe einer Verhältniszahl von Widerlagsstärke zur Spannweite eines ganzen Grat- oder Diagonalbogens mufs aber, wenn dieselbe überhaupt Wert haben soll, offenbar die Tiefe des Widerlagers mit beachtet werden. Dieselbe richtet sich, wie aus dem Grundrifs des Eckpfeilers zu ersehen ist, teilweise nach der Tiefe der Gurtbogen G_0. Im allgemeinen sollte die Tiefe der Eckpfeiler nicht unter $\frac{2}{3}$ der in der Richtung V der Gratlinie angetragenen Stärke herabsinken.

138.
Kreuzgewölbe ohne Gratbogen.

Die Stabilitätsuntersuchung der Eckpfeiler für Kreuzgewölbe mit selbständigen Gratbogen und rechteckigem Grundrifs ist auf dem eben beschriebenen Wege gleichfalls auszuführen. Bei Kreuzgewölben ohne besondere Gratbogen ist bei der Bestimmung der Widerlagsstärke das in Art. 136 (S. 238) Gesagte ohne weiteres zu verwerten. Hierbei fällt das sonst vom Gratbogen herrührende Gewicht einfach fort. Drücke, wie D, bezw. D_1 resultieren allein aus den Gewölbdrücken der in der Gratlinie zusammengefugten Elementarstreifen der Kappen. Das Wesen in der

ſtatiſchen Unterſuchung der Eckpfeiler für derartige Gewölbe wird dadurch nicht geändert.

Treten gegen einen Zwiſchenpfeiler in vollſtändig ſymmetriſcher Anordnung und Belaſtung vier Gurtbogen und vier Gratbogen ſymmetriſch liegender Kappen einer Kreuzgewölbanlage, ſo werden alle wagrechten Seitenkräfte der Drücke, welche von den Gurtbogen und Gratbogen auf den Pfeiler kommen, aufgehoben. Derſelbe wird dann nur durch lotrechte Kräfte beanſprucht. Die ſtatiſche Unterſuchung derſelben wird danach äuſserſt einfach, kann aber im Sinne des in Art. 137 (S. 238) Geſagten vorgenommen werden. 139. Pfeiler für vier Gurtbogen.

Bei einer Beanſpruchung der Eck- oder Zwiſchenpfeiler einer unſymmetriſchen Kreuzgewölbanlage iſt die Stabilitätsunterſuchung der Stützkörper ſchrittweiſe von Gurtbogen zu Gurtbogen, ſowie von Gratbogen zu Gratbogen zur Ermittelung der Reſultierenden der den Stützkörper angreifenden äuſseren Kräfte nach den Methoden der graphiſchen Statik, wenn auch etwas mühevoll, doch ohne ſehr erhebliche Schwierigkeiten, vorzunehmen. Die Endreſultierende dieſer angreifenden Kräfte im Raume, wobei ſich unter Umſtänden ein Kräftepaar geltend machen kann, iſt mit dem Gewichte des Pfeilers dann weiter zu vereinigen, um Aufſchluſs über die Standfähigkeit des Stützkörpers zu erhalten. Durch Uebermauerung der Gewölbzwickel, bezw. der Stützkörper muſs dahin geſtrebt werden, ein etwa ſich zeigendes Kräftepaar in ſeiner Wirkung wieder aufzuheben.

δ) Empiriſche Regeln für die Gewölbſtärke.

Sollte bei gröſseren Kreuzgewölbanlagen auch ſtets eine gewiſſenhafte ſtatiſche Unterſuchung und danach die Berechnung der Gewölbſtärke ſtattfinden, ſo hat man doch bei den in der Praxis ſo häufig zur Ausführung gelangten und noch vielfach angewandten cylindriſchen Kreuzgewölben der Erfahrung im allgemeinen entſprechend die folgenden Regeln für die Beſtimmung der Gewölbſtärke aufgeſtellt. 140. Stärke der Kappen.

Die Stärke der Kappen der halbkreisförmigen, bezw. elliptiſch-cylindriſchen Kreuzgewölbe, welche auſser ihrem eigenen Gewichte beſondere Belaſtungen nicht aufzunehmen haben, kann bei der Verwendung von gutem Backſteinmaterial, einem fehlerfreien, nicht zu langſam bindenden Mörtel und unter der Vorausſetzung einer ſorgfältigen Ausführung bei einer Spannweite bis zu 6^{m} $^{1}/_{2}$ Stein, bei einer Weite bis zu 9^{m} $^{1}/_{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein am Widerlager betragen. Geht die Spannweite über 9^{m} hinaus, ſo giebt man den Kappen zweckmäſsig durchweg 1 Stein Stärke.

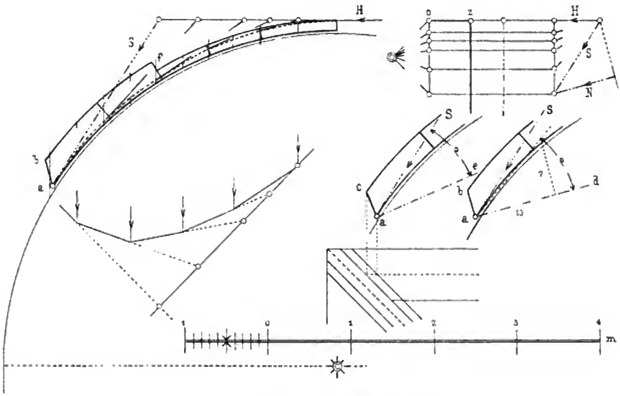
Im Hochbauweſen kommen Kreuzgewölbe, welche gröſsere Kappenſtärken als 1 Stein erfordern, ſelten vor.

Bei Kreuzgewölben, deren Kappen aus hinreichend feſten und lagerhaften Bruchſteinen oder aus gutem Quadermaterial einzuwölben ſind, kann die Kappenſtärke ungefähr gleich $\frac{1}{25}$ ihrer Spannweite genommen werden.

Daſs dieſe nach empiriſchen Regeln angegebenen Stärken unter Umſtänden noch einer Prüfung auf ihre Stichhaltigkeit unterzogen werden ſollten, mag durch Fig. 200 nachgewieſen werden.

Für das in Art. 129 (S. 223) gegebene Beiſpiel 1 iſt bei dem mitgeteilten Kreuzgewölbe eine Spannweite von 8^{m} vorhanden. Hiernach könnte den vorhin angeführten Abmeſſungen zufolge eine Stärke der Kappen gleich $^{1}/_{2}$ Stein im Scheitel und 1 Stein bei den Schichten in der Nähe des Widerlagers genommen werden. Die in der Zeichnung vorgeführte ſtatiſche Unterſuchung eines derartigen, an

Fig. 200.



der Stirnmauer liegenden gröfsten Kappenftreifens, deffen Breite hier wiederum zu $0{,}60$ m angenommen ift, ergiebt für die Berechnung feiner Stärke, da $H = 0{,}55$ m und $N = 0{,}76$ m gefunden werden, bei der Bafis $o z = 0{,}50$ m

$$\mathfrak{H} = 0{,}55 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}60} = \sim 0{,}46 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

und

$$\mathfrak{N} = 0{,}76 \cdot 0{,}50 \cdot \frac{1}{0{,}60} = 0{,}633 \text{ Quadr.-, bezw. Kub.-Met.}$$

Ein Vergleich diefer Werte für $\mathfrak{H}$ und $\mathfrak{N}$ mit den in der Tabelle auf S. 62 enthaltenen Gröfsen *H* und *N* zeigt, dafs $\mathfrak{H}$ eine etwas gröfsere Stärke als $^1/_2$ Stein, $\mathfrak{N}$ aber für die Stärke am Widerlager noch keine Dicke von 1 Stein fordert.

Da $N = 0{,}6$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. in jener Tabelle eine Stärke von $^1/_2$ Stein geftattet, fo kann man auch unter Zulaffung einer etwas gröfseren Preffung im Scheitel für $\mathfrak{H} = 0{,}46$ Quadr.-, bezw. Kub.-Met. die Stärke von $^1/_2$ Stein füglich gelten laffen, und die Kappe in der nach der empirifchen Regel empfohlenen Weife mit einer Verftärkung nach dem Widerlager geftalten.

Wohl aber follte dabei noch geprüft werden, ob, bei der oft fteil gehaltenen Anarbeitung der Widerlagsfläche am Grat, die Richtung des hier wirkenden Gewölbfchubes *S* mit der Winkelrechten zur Fuge *a b* die Gröfse des zuläffigen Reibungswinkels ρ nicht überfchreitet.

Nach der urfprünglichen Annahme der Widerlagsfuge *a b* ift hier der Winkel *S a d* gröfser als der Winkel ρ. Hieraus folgt, dafs die Widerlagsfuge, wie z. B. *a c*, fo gerichtet fein foll, dafs der Winkel *S a e* mindeftens gleich dem Winkel ρ wird, d. h. diefe Widerlagsfuge foll, um das Gleiten des Streifens am Grat zu unterdrücken, überall nicht zu fteil geftellt werden.

Aufserdem fei darauf hingewiefen, dafs zur geeigneten Erzielung einer ftetigen Zunahme der Gewölbftärke vom Scheitel bis zum verftärkten Anfatze in der Kappe ein Ausgleich des Zwickels *f* durch Beton oder durch Ausfüllung mit Kalkmörtel und Steinbrocken anzuraten ift.

141. Stärke der Grate. Cylindrifche Kreuzgewölbe von geringer Spannweite, welche etwa $3{,}00$ m bis $3{,}50$ m beträgt, erhalten, wenn keine fremde Belaftung in Rechnung zu bringen ift, recht oft weder eine Verftärkung im Grat, noch befondere, felbftändig ausgeführte Gratbogen. Ihre Kappen fchneiden in der Ebene der Gratlinie zufammen. Solche Gewölbe find Deckenbildungen mehr untergeordneter Art. Wird die Spannweite

gröſser als 3,50 m oder hat das Gewölbe noch eine Belaſtung durch Sandſchüttung oder durch einen darüber befindlichen Fuſsboden aufzunehmen, ſo tritt bis zu Spannweiten von 6 m, je nach den obwaltenden Umſtänden, entweder eine Gratverſtärkung, worüber unter 3 bei der Ausführung der Kreuzgewölbe noch das Nötige geſagt werden ſoll, oder die Einführung ſelbſtändiger Gratbogen ein.

Bei gröſseren Spannweiten iſt das Herrichten ſolcher Gratbogen ſtets zweckmäſsig. Bei den cylindriſchen Kreuzgewölben erhalten dieſe Gratbogen unterhalb der Wölbfläche keine beſonders gegliederten Anſätze (Profile); ſie laufen vielmehr meiſtens in eine Schneide aus, welche dem Zuſammenſchnitt der angrenzenden Kappenflächen angehört. Die einzelnen geradlinigen Erzeugenden der Widerlagsflächen der Kappen haben vom Fuſse des Gratbogens bis zum Scheitel desſelben verſchiedene Neigungswinkel zur ſenkrechten Richtungsebene des Grates. Infolge hiervon wechſelt in jedem Normalſchnitt desſelben auch ſeine mittlere Breite. Damit der Gratbogen durch die mittels Abſchrägung ſeiner Seitenflächen zu gewinnenden Widerlagsflächen nicht zu ſehr in ſeinem Verbande, bezw. ſeinem auf Druck beanſpruchten Körper geſchwächt wird, darf ſeine Breite nicht zu gering bemeſſen werden.

Bei Spannweiten der Kappen bis etwa 4 m beträgt dieſelbe bei Gratbogen aus Backſtein mindeſtens 1 Stein, die Höhe oder Stärke des Grates hierbei gleichfalls wenigſtens 1 Stein. Bei gröſseren Spannweiten bis etwa 9 m iſt die Breite der Gratbogen $1\frac{1}{2}$ Stein, unter Umſtänden 2 Stein, ihre Stärke $1\frac{1}{2}$ Stein bis 2 Stein zu nehmen. Sind Gratbogen innerhalb der Spannweiten der Kappen von 4 m bis 9 m bei $1\frac{1}{2}$ Stein Breite im Scheitel 1 Stein ſtark angenommen, ſo ſind dieſelben nach dem Widerlager auf $1\frac{1}{2}$ Stein zu verſtärken.

Bei Kreuzgewölben über 9 m Spannweite giebt nur die ſtatiſche Unterſuchung des Wölbſyſtems Aufſchluſs über die zu wählenden Stärken der Gratbogen, bezw. der Gewölbkappen. Werden bei Backſteinkappen bis etwa 6 m Spannweite ſtatt der eigentlichen Gratbogen nur Gratverſtärkungen eingeführt, welche mit dem Mauerwerk der Kappen im Verbande ſtehen, ſo iſt dieſe Verſtärkung bei einer Breite von mindeſtens 1 Stein in ihrer Geſamthöhe, einſchlieſslich der Kappenſtärke über der inneren Gratlinie, gleichfalls nicht unter 1 Stein zu nehmen. Gratbogen aus genügend feſten Bruchſteinen oder Quadern ſollten bei kleineren Kreuzgewölben bis 6 m Weite nicht unter 0,20 m Breite und 0,25 bis 0,30 m Stärke, bei gröſseren Gewölben aber eine Breite von 0,30 bis 0,40 m mit einer Höhe von 0,30 bis 0,50 m erhalten.

Bei den offenen cylindriſchen Kreuzgewölben aus Backſtein, Bruchſtein oder Quadern kann unter Berückſichtigung des Verhältniſſes der Breite zur Dicke des Widerlagskörpers wie 1 : 1, bezw. 2 : 3 (vergl. Art. 137, S. 240) die Stärke der Eckpfeiler in der Richtung der Gratebene etwa zu $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Weite des ganzen Gratbogens gewählt werden. Hierbei iſt die Höhe des Widerlagers von ſeiner Fuſsfläche bis zur Kämpferebene etwa gleich 3 m vorausgeſetzt. Bei einer Höhe über 3 m iſt jene Stärke um etwa $\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}$ des ganzen Höhenmaſses zu vergröſsern. 142. Widerlagsſtärke.

Bei den geſchloſſenen cylindriſchen Kreuzgewölben iſt die Stärke der Mauerkörper an den Ecken des Raumes in der Richtung der Gratebene ſchätzungsweiſe zu $\frac{1}{7}$ der Spannweite des ganzen Gratbogens zu ſetzen. Bei einer Widerlagshöhe über 3 m iſt dieſe Stärke ebenfalls entſprechend zu vergröſsern.

Die flachen Kreuzkappengewölbe erhalten in den meiften Fällen eine Gewölbftärke von $^1/_2$ Stein und Gratverftärkungen oder Gratbogen von 1 bis zu $1^1/_2$ Stein Breite mit 1 bis $1^1/_2$ Stein Höhe.

Diefelben Abmeffungen gelten gewöhnlich auch für nicht fehr ftark belaftete anfteigende Kreuzgewölbe. Die Stärke der Widerlager diefer zuletzt erwähnten beiden Arten von Kreuzgewölben wird am beften durch eine ftatifche Unterfuchung feftgeftellt.

ε) Verankerungen.

143. Sichtbare Verankerungen.

Wenngleich die Stärke der Widerlager, d. h. der Eck- und Zwifchenpfeiler der cylindrifchen Kreuzgewölbe, von vornherein fo grofs genommen werden follte, dafs diefelben im ftande find, dem vollen Gewölbfchube mit ausreichender Sicher-

Fig. 201.

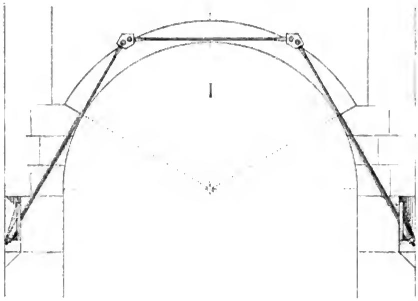
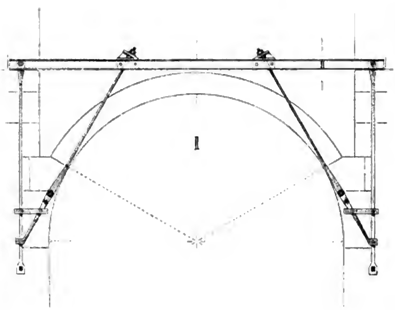


Fig. 202.



heit zu widerftehen, fo können doch Umftände eintreten, welche eine befondere Verankerung und damit eine Verftärkung der Widerlagskörper, namentlich der Eckpfeiler, erforderlich machen. Immerhin dürfen diefe Verankerungen bei Kreuzgewölben nur als Notbehelfe angefehen werden.

Die aus Flach- oder Rundeifen beftehenden Ankerftangen würden ihre günftigfte Lage in der Kämpferebene oder wenig darüber in der Richtung der Gratlinien erhalten, um damit dem Schube der Gratbogen am beften begegnen zu können. Eine folche Anordnung würde auch in wahrheitsgetreuer Weife auf den eigentlichen Zweck der Verankerung hinweifen. Ebenfo könnten bei offenen Kreuzgewölben zur Verankerung der Eckpfeiler und auch der Zwifchenpfeiler die einzelnen Gurtbogen durch Ankerftangen, welche in der Kämpferebene angebracht würden, kräftig verfpannt werden. Für diefe einfachen Verankerungen gilt das in Art. 59 (S. 128) beim Kappengewölbe über Verftärkung feiner Widerlager Gefagte ebenfalls.

Kommen auch derart angebrachte Verankerungen bei Bauwerken älterer und neuerer Bauperioden vor, fo können diefelben doch in manchen Fällen bei ihrer tiefen Lage unter dem Gewölbfcheitel ftörend fein. Alsdann find die Verankerungen der Grat-, bezw. Gurtbogen nicht mehr fichtbar zu laffen, fondern in das Innere diefer Wölbkörper zu verlegen. Derartige Verankerungen zeigen Fig. 201. u. 202. Bei der Anordnung *I* ift ein Gelenkfyftem gebildet, um das zweckmäfsige Einleiten von Zugfpannungen, hervorgerufen vom Gewölbfchube am Widerlager der Grat- oder Gurtbogen, in die einzelnen Teile zu bewirken. Für die Berechnung der Querfchnitte der Zugftangen, Ankerplatten u. f. f. ift es aber zweckmäfsig, von einem Gewölbfchube auszugehen, welcher einer Maximaldrucklinie im Grat-, bezw. Gurtbogen angehört, fonft jedoch nach dem in Art. 59 (S. 128) Vorgetragenen zu verfahren. Die beffere Verankerung *II*, welche in ihrer aus der Zeichnung deutlich zu erkennenden Anordnung einer von *Durm* bei einem Tonnengewölbe mit Stichkappen ausgeführten Ankerkonftruktion [21]) entfpricht, läfst fich auch bei Kreuzgewölben verwenden.

144. Unfichtbare Verankerungen.

3) Ausführung der cylindrifchen Kreuzgewölbe.

145. Material.

Die Kappen und die Gratbogen der cylindrifchen Kreuzgewölbe find Beftandteile eines Tonnengewölbes. Ihre Ausführung hat alfo nach den Vorfchriften zu gefchehen, welche in Kap. 11, unter c mitgeteilt find. Selbft die von den Römern gefchaffenen, mit grofsen Spannweiten behafteten Kreuzgewölbe, welche im allgemeinen aus Backfteinmaterial in Verbindung mit Gufswerk aus Steinbrocken und Mörtel beftanden [22]), hatten die Ausführung der ähnlich hergeftellten Tonnengewölbe zur Grundlage.

Für die Kreuzgewölbe der Jetztzeit werden Backfteine, möglichft leichte, aber dennoch hinreichend fefte, lagerhafte Bruchfteine und unter befonderen Verhältniffen leicht zu bearbeitende Quader zur Einwölbung verwendet. Als Bindemittel dient fehlerfreier Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein. Das über diefe Materialien beim Tonnengewölbe in Art. 31 (S. 78) Mitgeteilte trifft auch beim Kreuzgewölbe zu.

146. Lehrgerüfte.

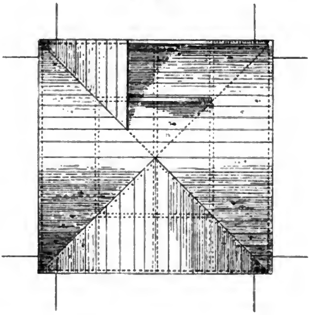
Cylindrifche Kreuzgewölbe werden im allgemeinen auf einer durch Lehrgerüfte unterftützten Schalung eingewölbt.

[21]) Siehe: Durm, J. Der neue Friedhof in Karlsruhe. Zeitfchr. f. Bauw., S. 3 u. Bl. 1—9.

[22]) Siehe Teil II, Band 2 diefes »Handbuches«

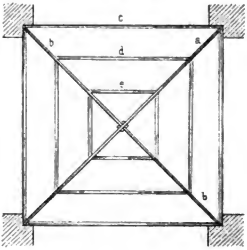
Kleine Gewölbe, bis etwa 4 m Weite, ohne Stechung können, wie in Art. 33 (S. 80) angegeben ift, nach Art eines Tonnengewölbes mit rechtwinkelig angefügten Stichkappen eingefchalt werden (Fig. 203). Hierbei werden an den Stirnen des Kreuzgewölbes einfache Lehrbogen oder auch gewöhnliche Wölbfcheiben als Randbogen aufgeftellt. Zwei einander gegenüberliegende Randbogen tragen eine durchgehende Schalung, welche die Mantelfläche eines gewöhnlichen Tonnengewölbes liefert. Beträgt der Abftand diefer Randbogen über 2 m, fo wird zur befferen Unterftützung der Schalung noch eine Wölbfcheibe oder ein Lehrbogen in der Mitte zwifchen den Randbogen aufgeftellt. Auf der Schalung find die Gratlinien unter Anwendung einer gefärbten Schnur genau und deutlich vorzureifsen. Von denfelben aus erfolgt die weitere Einfchalung der an das Gewölbe tretenden Querkappen bis zu den hierzu gehörigen Lehrbogen oder Wölbfcheiben an den beiden anderen Randbogen. Auch diefe Schalung kann nach Erfordernis noch durch Wölbfcheiben unterftützt werden, welche alsdann ihr Lager auf der erften Hauptfchalung finden. Je forgfältiger diefe zweite Schalung bezüglich der Gratlinien vorgenommen ift, um fo fchärfer kommen die Grate nach der Ausführung des Gewölbes zum Ausdruck.

Fig. 203.



Gröfsere Kreuzgewölbe, namentlich folche, welche Stechung erhalten follen, müffen in anderer Weife eingerüftet werden. Sowohl für die Gratbogen, als auch für die Gewölbkappen werden befondere Lehrbogen aufgeftellt. Nach Fig. 204 ift mit *a* ein ganzer, von einer Ecke zur gegenüberliegenden Ecke durchgeführter Lehrbogen für einen Gratbogen bezeichnet. Der Lehrbogen des anderen Grates befteht aus zwei Teilen *b*, welche fich gegen den Lehrbogen *a* fetzen und an demfelben fachgemäfs befeftigt werden. Wie beim Kloftergewölbe in Art. 97 (S. 182) angeführt, werden diefe Gratlehrbogen auch hier an ihrer Kreuzungsftelle durch einen Pfoften (Mäkler, Mönch) unterftützt. Für die Kappen werden Randlehrbogen *c* und bei gröfserer Länge der Kappen noch in Entfernungen von 1,00 m bis 1,50 m Zwifchenbogen *d*, *e* aufgeftellt. Diefes Bogenfyftem nimmt dann die Schalbretter oder die Schallatten auf. Sie find zur Erzielung einer fcharfen Gratlinie in ihrem Lager auf jedem Gratbogen genau zufammenzufchneiden, fo dafs ihre Fuge hier der Wölblinie des Grates vollftändig entfpricht. Das Austragen der oberen Begrenzungslinien der verfchiedenen Lehrbogen erfolgt

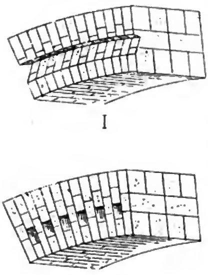
Fig. 204.



in der bei der Ausmittelung der Hauptftücke des Kreuzgewölbes gezeigten Weife. Die Konftruktion der Lehrbogen gefchieht nach den in Art. 33 (S. 80) gegebenen Mitteilungen. Ebenfo find die Unterlagerungen, Ausrüftungsvorrichtungen und die Schalung des gefamten Lehrgerüftes, wie beim Tonnengewölbe in Art. 35 bis 38 (S. 84 u. ff.) befchrieben, auch für cylindrifche Kreuzgewölbe in Anwendung zu bringen. Offene Kreuzgewölbe erhalten für ihre Gurtbogen felbftredend gleichfalls eine Ausrüftung.

Sollen cylindrifche Kreuzgewölbe aus Backftein oder unter Umftänden auch aus leichtem Tuffftein auf Schwalbenfchwanzverband errichtet werden, fo kann, wenn die Einwölbung von gefchickten Maurern ausgeführt wird, die Einfchalung der Gewölbflächen ganz fehlen. Nur für die Grate werden Lehrbogen aufgeftellt, und hierüber find alsdann bei gröfseren Gewölben die Gratbogen, welche mit entfprechenden Widerlagsflächen für die Kappen zu verfehen find, felbftändig herzuftellen, oder bei kleineren Gewölben unter Berückfichtigung einer Gratverftärkung gleichzeitig mit der Kappenwölbung anzufertigen. Für die Anfätze der Kappen an den Stirnen find nach Fig. 205 entweder wie bei *I* an den Gurtbogen, bezw. an den Stirnmauern die Widerlagsflächen angearbeitet oder wie bei *II* Verzahnungen gelaffen, fo dafs hierdurch eine Lehre für das aus freier Hand zu bewirkende Wölben der Kappen vorhanden ift. Als weitere Lehre dient zweckmäfsig ein Scheitelbrett, welches in feiner Oberkante die Scheitellinie vom höchften Punkte der Randbogen bis zum Gewölbfcheitel angiebt. Ueber diefem Brette, welches gehörig unterftützt ift, fchneiden fich dann die zufammengeftochenen Schichten der Kappen.

Fig. 205.



I

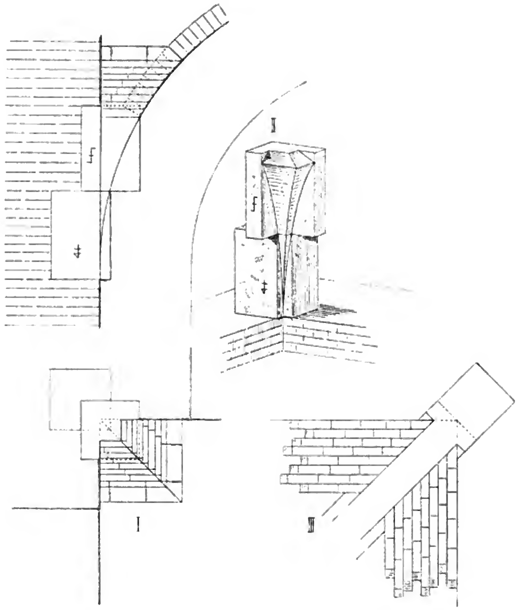
II

Kreuzgewölbe aus Backfteinen können bei geringer Spannweite und mäfsiger Belaftung auf Kuf ohne befondere Gratbogen, häufig auch ohne Gratverftärkung, ausgeführt werden. Die Lagerfugenkanten der Kappen laufen, gleichgültig, ob das Gewölbe eine Stechung erhält oder nicht, in ihrer wagrechten Projektion parallel mit den Achfen der Kappen; fie find, wie Fig. 206 bei *I* zeigt, in den einzelnen Schichten auf Verband zu ordnen und an der Gratlinie gegenfeitig zu überbinden, fo dafs nach der Richtung diefer Linie eine Fugenebene nicht eintritt. Die Anfänger an den Ecken des Gewölbes werden durch Auskragen in wagrechten Schichten hergeftellt, bis eine geeignete Fufsfläche für die Gratfteine gewonnen ift. Weit beffer wird jedoch der Anfänger, wie in *II* gegeben, aus feftem Quadermaterial angefertigt. In jedem Falle ift zu beachten, dafs gleich bei der Ausführung der Mauerkörper, welche demnächft die herzuftellenden Kreuzgewölbe begrenzen, diefe Anfänger von der einen oder der anderen Art an richtiger Stelle fchon mit eingefügt werden, damit von Anfang an ein geficherter, kräftig im Mauerwerk eingebundener Gewölbfufs für jede Kappe vorhanden ift. Sollen die Grate eine Verftärkung erhalten, fo kann nach Fig. 207 auch hierbei der Verband auf Kuf angewendet werden.

147. Kreuzgewölbe aus Backfteinen.

Sind für gröfsere und etwa ftärker belaftete Gewölbe felbftändige, gleichfalls auf Kuf gewölbte Gratbogen herzurichten, welche alsdann ein geeignet angearbeitetes

Fig. 206.

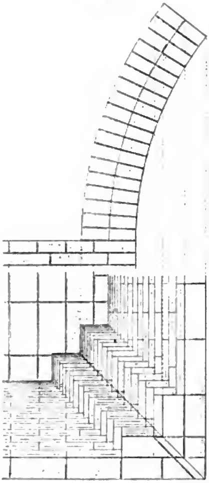


Widerlager für die Kappen bekommen, fo wird hierdurch am Verbande der Kappen nichts geändert, felbft wenn diefelben einer gröfseren Belaftung halber ftatt ½ Stein 1 Stein ftark werden mufsten.

Beim Vorhandenfein von befonderen Gratbogen kann auch die Einwölbung der Kappen im *Moller*'fchen Verbande nach der Anordnung *III* in Fig. 206 ftattfinden.

In den weitaus meiften Fällen wird die Einwölbung der Kappen der cylindrifchen Kreuzgewölbe aus Backftein auf Schwalbenfchwanzverband vorgenommen. Ein einigermafsen weit gefpanntes Gewölbe erhält dann am beften immer felbftändig auf Kufverband ausgeführte Gratbogen. Bei ftrenger und fachgemäfser Durchführung der Wölbung der Kappen auf Schwalbenfchwanzverband follen die einzelnen Lagerflächen der Wölbfchichten Ebenen angehören, welche rechtwinkelig zur Richtungsebene des Gratbogens und fenkrecht zur Wölblinie desfelben ftehen. Die Schnittlinien diefer fog. Normalebenen des Grates mit den Kappenflächen bilden die Wölblinien der Schichten. Die jeder Schicht zugehörige Widerlagsfuge, bezw. Widerlagsfläche

Fig. 207.



am Grat- und am Randbogen foll winkelrecht zu den entftehenden Wölblinien gerichtet fein. Die für diefe Forderungen notwendigen zeichnerifchen Ermittelungen find in Fig. 208 angeftellt.

Für das Kreuzgewölbe fei der Halbkreis *P* Stirnbogen der einen Seite; der Randbogen *U* der anstofsenden Seite ift die halbe Ellipfe mit der grofsen Halbachfe ζu und der kleinen Halbachfe $\delta \delta_1$, gleich dem Halbmeffer γu, bezw. $\gamma \gamma_1$ des Halbkreifes *P*. Die wagrechte Projektion des Gewölbfcheitels ift *s*; die Geraden $s \gamma$ und $s \delta$ find die wagrechten Projektionen der geraden Scheitellinien für die mit einer Stechung *db* verfehenen Kappen *A* und *B*. Die Richtungsebene des Gratbogens von der Breite $\alpha \beta$ ift *Rs*.

Nach den in Art. 122 (S. 215) gemachten Mitteilungen ift auf dem aus der Zeichnung erfichtlichen Wege die lotrechte Projektion $a s_1$ der Wölblinie des Grates (Gratlinie) erhalten. Dieselbe gehört hier einer Ellipfe mit den halben konjugierten Durchmeffern *ab* und $b s_1$ an. Sollen die reellen Achfen diefer Ellipfe gefunden werden, fo kann man fich des in Art. 16 (S. 37) bei Fig. 39 angegebenen Verfahrens bedienen.

Für den beliebig angenommenen Punkt *f* der Gratlinie ift mit Hilfe des halben Stirnbogens $c s_1$, entfprechend dem grundlegenden Halbkreife *P*, die Tangente *T* feftgelegt. Die in *f* auf *T* errichtete Lotrechte giebt in *NE* die Spur der vorhin bezeichneten Normalebene zum Grat in der lotrechten Projektionsebene, während das in *E* auf *ad* errichtete Lot *EF* die Spur jener Normalebene in der wagrechten Kämpferebene beftimmt.

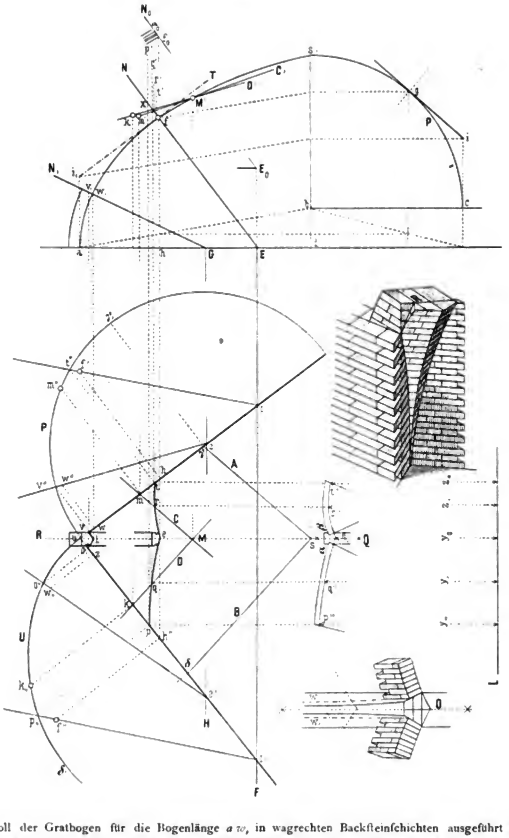
Die Projektionen der Schnittlinien der Normalebene in *f* mit den Laibungsflächen der Gewölbkappen *A* und *B* ergeben fich in folgender Weife. Die wagrechte Projektion des Punktes *f* ift der Punkt *e* auf *Rs*. Von *e* laufen die wagrechten Projektionen *ert* und *eqp* diefer gefuchten Schnittlinien aus. Diefelben find von Bedeutung, weil fie für die Richtung der Lagerfugenkanten, bezw. für die Geftalt der Wölblinien der am Gratbogen zufammentretenden Wölbfchichten der Kappen *A* und *B* mafsgebend werden. Um den Grenzpunkt *t* am Stirnbogen *P* zu ermitteln, ift die Schnittlinie $\iota t''$ der Normalebene des Grates mit der lotrechten Stirnebene *P* unter Verwertung der Höhenlage *hf* des Punktes *f* über der Kämpferebene *ad* gezeichnet. Für diefe Schnittlinie $\iota t''$ ift, wie fofort erkannt werden kann, $h_1 f_1 = h f$ und der Punkt ι der Schnittpunkt der Spur *EF* auf der verlängerten Geraden $u \gamma$. Der Strahl ιf_1 trifft den Stirnbogen *P* im Punkte t''. Derfelbe ift die lotrechte Projektion des Grenzpunktes der erwähnten Wölblinie in der Kappe *A*. Die wagrechte Projektion desfelben ift der Punkt *t* auf $u \gamma$.

Zur Beftimmung der Projektionen eines zwifchen den Grenzpunkten *e* und *t* gelegenen Punktes folcher Schnittlinie ift der innerhalb *e* und *t* an beliebiger Stelle genommene Strahl *mM* parallel zur wagrechten Projektion γs der Scheitellinie der Kappe *A* gezogen. Derfelbe ift die wagrechte Projektion einer geraden Erzeugenden diefer Kappe.

Die lotrechte Projektion diefer der Stechung des Gewölbes entfprechend anfteigenden Erzeugenden ift $m_1 M_1$, wobei M_1 auf der Gratlinie $a s_1$ der Punkt m_1 über der Kämpferebene *ad* ebenfo hoch liegen mufs als m_{11} am Stirnbogen *P* über *m* auf $u \gamma$ liegt. Die lotrechte Projektion $m_1 M_1$ der benutzten Erzeugenden durchftöfst die Normalebene. Auf die lotrechte Projektion diefes Durchftofspunktes in *NE* ift durch die punktierte Lotrechte *r*, hingewiefen. Die wagrechte Projektion *r* desfelben liegt auf *mM*, und fomit ift der Linienzug *ert* für die Kappe *A* ermöglicht. Auf demfelben Wege ergiebt fich der Zeichnung gemäfs der zugehörige Linienzug *eqp* für die Kappe *B*, wie überhaupt mehrerer folcher Linien im Wölbgebiete $\gamma s \delta u$.

Die weiteren Wölbgebiete, welche ftets durch die Scheitellinien der einzelnen Kappen getrennt werden, find in gleicher Weife für fich zu behandeln. Auf diefen Scheitellinien treffen fich, dem Wefen des Schwalbenfchwanzverbandes nach, die einzelnen Schnittlinien der entfprechenden Normalebenen der Gratbogen.

Fig. 208.



Soll der Gratbogen für die Bogenlänge *a* w_1 in wagrechten Backfteinfchichten ausgeführt werden oder bis dahin reichend einen Anfänger aus Quadern erhalten, fo ift zur richtigen Beftimmung der Widerlagsfläche des Grates in der Höhe w_1 wiederum eine Normalebene, deren Spuren $N_1 G$ und $G H$ find, zu führen, um danach die Projektionen *l v* und *l o*, bezw. $w_1 r_1$ der vorderen Kantenlinien der Fufsfläche bei w_1 zu finden.

Um den wirklichen Querfchnitt des Gratbogens und die wirkliche Geftalt der Wölblinien aus-

zutragen, welche dem Normalſchnitte mit den Spuren $N E$ und $E F$ zukommen, iſt die erforderliche Zeichnung in Q gegeben.

Für die Wölblinien iſt $y_0 = E f$, $z_, = E r_,$, $z_{,,} = E t$, über der rechtwinkelig zu $R s$ geführten Linie L, welche danach eine Spur der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes darſtellt, abgetragen und dabei y_0 in der Richtung $R s$, $z_,$ in der durch r parallel zu $R s$ gezogenen Linie u. ſ. f. feſtgelegt. Ebenſo iſt $y_, = E q_,$ und $y_{,,} = E p_,$ genommen.

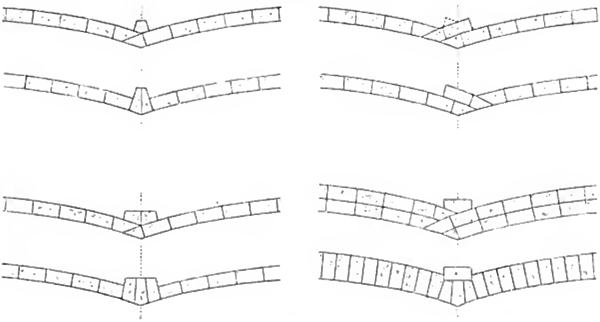
Hiernach erhält man in $f_{,,,} r_{,,,} t_{,,,}$ und in $f_{,,,} q_{,,,} p_{,,,}$ die wirkliche Geſtalt jener Wölblinien für die Kappenſchicht in A und B. Da die Breite $\alpha \beta$ und die Höhe des Gratbogens gegeben ſind, ſo läſst ſich, ſobald die wirkliche Stärke der Wölbſchichten oberhalb der Wölblinien angeſetzt iſt, mit Leichtigkeit die richtige Stellung der Widerlagsfugen ſenkrecht zu den betreffenden Wölblinien am Grat und an den Stirnmauern oder Randbogen eintragen und auch der wirkliche Querſchnitt des Gratbogens, wie bei Q und beim Bilde R vom Anfänger des Grates gezeigt iſt, feſtſtellen. Die lotrechte Projektion $a_0 f_0$ des Gratſchnittes iſt in der Richtung $E_0 N_0$ parallel $E N$ nach der Ausmittelung in Q beſonders gezeichnet.

Läſst man nach der Darſtellung in O die Widerlagsflächen am Grat nicht in der Form von Falzen, ſondern als Flächen auftreten, welche vom Anſatze der Kappen aus nach dem Rücken des Gratbogens vollſtändig durchgeführt werden, ſo ergiebt ſich für den Gratkörper am Rücken zwiſchen den geſamten beiden Widerlagsflächen w und $w_,$ in jedem Normalſchnitte eine andere Breite, weil die Neigungswinkel der verſchiedenen Normalebenen zur wagrechten Kämpferebene in ihrer Gröſse ſtets voneinander abweichen. Dieſem Umſtande iſt bei der Ausführung der Gratbogen dadurch Rechnung zu tragen, daſs mehrere Normalſchnitte für den Grat ermittelt werden. Dieſe Arbeit iſt im beſonderen notwendig, ſobald die Gratbogen für auf Schwalbenſchwanzverband ausgeführte Kreuzgewölbe aus Quadern hergeſtellt werden ſollen.

Die gegebenen Ermittelungen der ſog. Normalſchnitte der Gratbogen finden auch bei Kreuzgewölben über beliebig angeordneten regelmäſsigen oder unregelmäſsigen Grundriſſen Anwendung.

Für Kreuzgewölbe ohne ſelbſtändige Gratbogen ſind Gratverſtärkungen ſtets zu empfehlen. Namentlich ſind dieſelben beim Schwalbenſchwanzverbande gleich in 148. Grat-verſtärkungen.

Fig. 209.

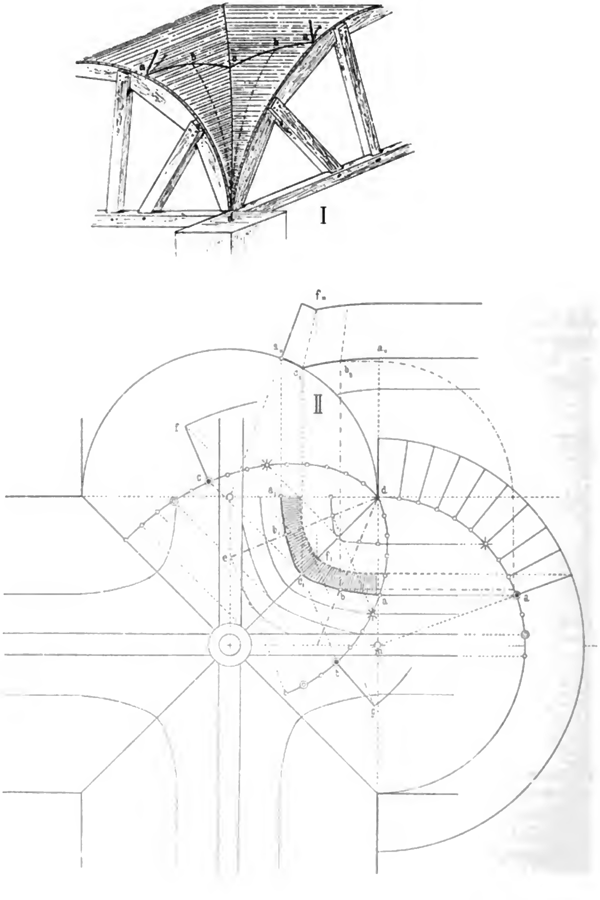


geeigneter Weiſe mit den über der Gratlinie zuſammenſchneidenden einzelnen Wölbſchichten der Kappen in Verbindung zu bringen. In Fig. 209 ſind derartige Backſteinverbände gegeben.

Cylindriſche Kreuzgewölbe, welche mit ſehr ſtarker Belaſtung und demgemäſs auch mit entſprechend groſser Kappenſtärke zu verſehen ſind, können beim Fehlen 149. Beſondere Verbandarten.

ſelbſtändiger Gratbogen oder der Gratverſtärkungen in einem beſonderen Kufverbande hergeſtellt werden, wobei die wagrechten Projektionen der Lagerfugenkanten von

Fig. 210.



zwei zusammengehörigen Wölbscharen der benachbarten Kappen nach einem bestimmten Gesetze gebildete krumme Linien sind. Ein derartiger Verband ist fur quadratische Kreuzgewölbe aus Backstein von 3 Stein Stärke bei einigen Festungswerken in Mainz[23]) in Anwendung gebracht (Fig. 210).

Für das Festlegen der Lagerfugenkanten gilt das Gesetz, wonach, entsprechend *I* in Fig. 210, vom Fufspunkte *d* der Gratbogen aus die unveränderliche Bogenlänge *da*, deren Endpunkt *a* irgend einer Lagerfuge des Stirnbogens angehört, an der Laibungsfläche der zusammentretenden Kappen nach der Darstellung *I* so um *d* gedreht wird, dafs diese Bogenlänge stets auf der Wölbfläche verbleibt und mit dem Endpunkte *a* die Lagerfugenkanten *abc* und *cba* beschreibt. Mit Hilfe einer in *d* befestigten Schnur lassen sich derart gebildete Lagerfugen auf der Schalung des Kreuzgewölbes für alle Kappen leicht und so weit erforderlich vorreifsen. Der Plan *II* in Fig. 210 giebt die geometrische Ermittelung solcher Lagerfugen. Für den Fugenpunkt *a* am Stirnbogen ist *da* die zugehörige Bogenlänge. Für den durch *d* mit der beliebigen lotrechten Ebene *de* geführten Kappenschnitt ist die Bogenlänge *db* ebenfalls gleich jener Bogenlänge *da*. Dasselbe gilt auch für den Gratbogen, wobei Bogenlänge *dc* gleich Bogenlänge *da* genommen ist. Hiernach ergiebt sich die dem Teilpunkte *a* zukommende Lagerfugenkante in der wagrechten Projektion als ein Linienzug $a, b, c, b, a,$ und in der lotrechten Projektion als $a_{,,} b_{,,} c_{,,} a_{,,}$. Die letztere Darstellung zeigt ein allmähliches Niedersinken der Lagerfugen von den Stirnbogen nach dem Gratbogen. Dieses Fallen der Fugen, welches bei ungeputzten Gewölben der Beobachtung nicht entzogen wird, schädigt das Ansehen der Kappen aber durchaus nicht.

Die den einzelnen Lagerfugenkanten angehörenden Lagerfugenflächen werden am zweckmäfsigsten als Normalflächen ausgeführt, d. h. die geraden Erzeugenden derselben sollen Normalen wie *cf*. *bg* u. s. f. in den betreffenden Bogenelementen *c*, *b* u. s. f. ihrer Schnittkurven sein. Die übrige Anordnung der Lagerfugen bei den durchgeführten, geradlinig begrenzten Schlufssteinschichten ist aus der Zeichnung zu entnehmen.

Bei den Kreuzgewölben bilden sich oberhalb des Ruckens und des Gewölb- 150 Zwickel-
fufses an den Ecken des überwölbten Raumes stets trichterartige Vertiefungen. Die ausmauerung.
Ausfüllung dieser schachtartigen Zwickel mit Backsteinmauerwerk oder Grobmörtel (Beton) sollte bei halbkreisförmigen, bezw. halbelliptischen Kreuzgewölben immer stattfinden, weil eine solche Ausfüllung für die Stabilität dieser Kreuzgewölbe im allgemeinen günstig wirkt. Die Zwickelausmauerung oder -Füllung kann etwa bis zu ein Drittel der Wölbhöhe der Gratbogen reichen. Bei Kreuzkappengewölben oder bei ansteigenden Kreuzgewölben wird das Anbringen der Zwickelausmauerung jedoch zweckmäfsig erst auf Grund einer Stabilitätsuntersuchung entschieden, um hiernach, namentlich bei gröfseren Anlagen, etwaige Vorteile oder unter Umständen auch Nachteile dieser Zwickelfüllungen klarzustellen.

Hinsichtlich der Zeit der Ausführung der Kreuzgewölbe aus Backstein, der Vornahme der Ausrüstung derselben u. s. f. ist auf das in Kap. 11, unter c beim Tonnengewölbe Gesagte wieder zu verweisen.

Bei den Kreuzgewölben des Mittelalters ist Bruchsteinmaterial, selbst wenn 151
dasselbe oft gar keine sehr lagerhafte Beschaffenheit befafs, in ausgiebiger Weise zur Kreuzgewölbe aus
Verwendung gelangt. Bei den Kreuzgewölben der Jetztzeit jedoch ist vermöge des Bruchsteinen.
weit verbreiteten Ziegelmaterials die Verwertung der Bruchsteine als Wölbsteine mehr in den Hintergrund gedrängt. Nur in Gegenden, in welchen zu billigen Preisen dünnschichtige lagerhafte Bruchsteine oder hinreichend feste, aber leichte und unschwer zu bearbeitende Abarten der vulkanischen Tuffe zu gewinnen sind, werden Kreuzgewölbe aus diesem Material hergestellt. Der Verband im Mauerwerk der Kappen entspricht im wesentlichen der Anordnung der aus Backstein ausgeführten Gewölbe.

Bei weniger lagerhaften und weniger regelmäfsig gestalteten Bruchsteinen findet

---

[23]) Siehe: Deutsche Bauz. 1869, S. 259.

meiſtens eine Wölbung auf Kuf Anwendung, während bei ſehr lagerhaften, nicht zu groſsen Bruchſteinen mit vorwiegend regelmäſsiger Form auch eine Mauerung auf Schwalbenſchwanzverband vorgenommen werden kann.

Für Kreuzgewölbe aus Bruchſteinen iſt in Rückſicht auf das leicht erfolgende Setzen (Senken) der Kappen die Annahme einer Stechung von etwa $^1/_{20}$ der gröſsten Gratbogenweite vorteilhaft. Die Ausführung dieſer Gewölbe erfolgt ſtets auf einer vollen Einrüſtung mit Schalung. Auf die Verwendung eines ſehr guten Mörtels, welcher die Fugen im Kappenmauerwerk vollſtändig füllt, iſt beſonders zu achten.

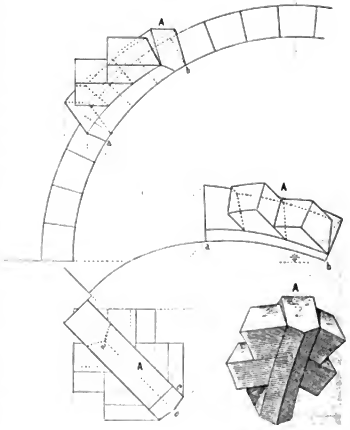
In einigen Gegenden iſt es üblich, die Wölbſteine trocken auf der Schalung zu verſetzen und ſchlieſslich mit flüſſigem Mörtelbrei zu vergieſsen. Dieſe Einwölbungsart erfordert verhältnismäſsig wenig Zeit, wohl aber die gröſste Aufmerkſamkeit einerſeits hinſichtlich der Vermeidung zu dicker Mörtelbänder, andererſeits in Rückſicht auf das Herbeiführen einer vollſtändigen Ausfüllung der ſämtlichen Fugen und einer innigen Verkittung der einzelnen Steine durch den benutzten Mörtel.

Die Ausführung erfolgt, gleichgültig, welche Verbandart für das Gewölbe gewählt wird, wie beim Kreuzgewölbe aus Backſtein, gleichzeitig und gleichmäſsig fortſchreitend, von allen Gewölbfüſsen an den Ecken des Raumes aus anfangend, bis zum Schluſs des Gewölbes. Für die Ausfüllung der Gewölbzwickel iſt Art. 150 (S. 253) zu beachten.

152. Kreuzgewölbe aus Quadern.

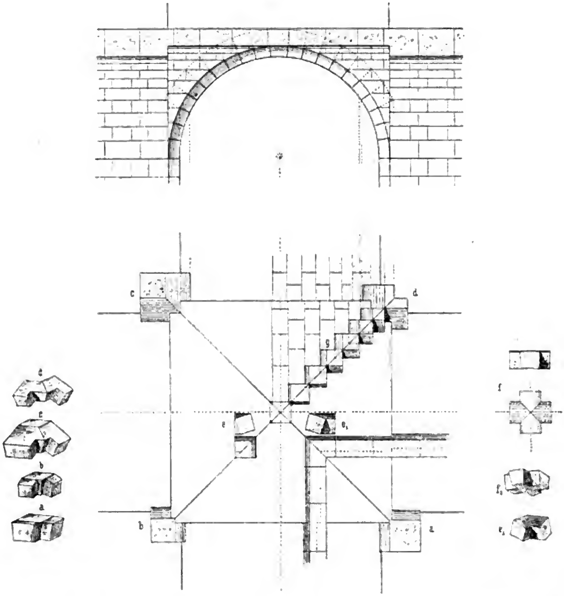
Für cylindriſche Kreuzgewölbe aus Quadern tritt bei den Wölbſteinen eine beſondere Bearbeitung nach genau beſtimmten Brettungen ein, welche, je nach der Geſtalt des Gewölbes, in mehr oder weniger einfacher Weiſe nach Feſtlegen eines zu Grunde gelegten Fugenſchnittes auszutragen ſind. Um das Mühſame im Bearbeiten dieſer Wölbſteine nicht unnötig zu ſteigern, erhalten Kreuzgewölbe aus Quadern in der Regel keine Stechung; auch behält man in den Kappen meiſtens und auch zweckmäſsig den Verband auf Kuf bei. Infolge hiervon nehmen die Kappenſteine die Form der Wölbſteine der einfachen geraden Tonnengewölbe an, ſo daſs nur für die eigentlichen Gratſteine ein beſonderer Steinſchnitt ſich geltend macht. Das unvermittelt eingeführte Zuſammentreten der Kappenſteine in einer Fugenfläche, welche der lotrechten Ebene der Gratlinie folgt, wie ſolches beim Fehlen ſelbſtändiger Gratſteine ſich ergeben würde, iſt nicht gut, weil die in der Gratebene zuſammenſtoſsenden Wölbſteine ſtets an einer Seite eine ſcharfe Schneide erhalten, welche bei Werkſtücken möglichſt vermieden werden ſoll.

Fig. 211.



Diefer Mifsftand würde bei den Wölbfteinen auch nicht befeitigt fein, wenn die Grate, wie Fig. 211 angiebt, aus befonderen felbftändigen Werkftücken *A* als für fich beftehende fchmale Tonnengewölbe mit regelrechtem Fugenfchnitte *a*, *b* u. f. f. ausgeführt würden, da ihre lotrechte Seiten nur Schmiegflächen bieten, gegen

Fig. 212.



welche fich die mit den Schneiden bei *c* dennoch behafteten Wölbfteine der Kappen legen.

Um Wölbfteine zu fchaffen, welche fich mit lotrechten Stofsflächen und mit zur Laibungsfläche der Kappen fenkrecht ftehenden Lagerflächen an die Wölbkörper der Grate fetzen, find die einzelnen Gratfteine diefer Forderung entfprechend im Fugenfchnitt zu behandeln.

153. Quadergewölbe über quadratifchem Grundrifs.

Eine derartige Anordnung ift in Fig. 212 für ein cylindrifches Kreuzgewölbe über einer quadratifchen Grundfläche gegeben. Die Gratfteine können, wie *g*, bezw. *e* zeigt, frei von befonderen, in die einzelnen Kappen reichenden Anfätzen bleiben oder, wie e_1, bezw. *f* und f_1 erkennen läfst, mit derartigen Anfätzen verfehen werden. In letzterem Falle entftehen fog. Hakenfteine, wobei der Schlufsftein f_1 des ganzen

Gewölbes die Kreuzform mit ihren vier Armen als Haken annimmt. Diefer letztere Fugenfchnitt bedingt einen gröfseren Materialaufwand für die Gratfteine als der erftere, da bei der Bearbeitung der Hakenfteine ein gröfserer Teil der Werkftücke als überflüffig fortgenommen werden mufs.

Die Wölbfteine der Kappen find regelrecht auf Kufverband zu ordnen. Der Fugenlage diefes Verbandes folgend, find fowohl die einfachen Gratfteine *e*, *g* u. f. f., wie auch die Hakenfteine e_1, f_1 u. f. f. auszubilden. Bei der Annahme von Hakenfteinen ift eine über etwa 20 cm gehende Länge der Haken zu vermeiden.

Bei Quadergewölben beftehen die Anfänger zweckmäfsig aus mehreren in *a, b, c* angegebenen Schichten, welche in den einzelnen Steinen nach Art. 147 (S. 247) nur fchmale, in den höheren Schichten allmählich verbreiterte Lagerflächen für die Wölbfteine, Gratfteine, bezw. Bogenfteine der Rand- oder Gurtbogen erhalten, fonft aber in wagrechten Lagerflächen aufeinander gefetzt find. Auf die letzte Schicht *c* legt fich der nach *d* geformte Stein, welcher Wölbftein, Gratftein und Gurtbogenftein zugleich ift.

Das Austragen der Brettungen (Schablonen) für die einzelnen Steinkörper kann nach Feftlegen ihrer Grund- und Aufrifsprojektionen ohne befondere weitere Hilfsmittel bewirkt werden.

Wie in Art. 127 (S. 221) erörtert, findet durch den Gratkörper der Kreuzgewölbe die Ueberlieferung der Drücke des Gewölbes nach dem Widerlager ftatt. Aus diefem Grunde erfcheint es auch bei Quadergewölben ratfam, hinfichtlich der Anordnung des Fugenfchnittes für die Gratfteine von der Vorfchrift Gebrauch zu machen, die Grate aus einzelnen Steinen fo zufammenzufetzen, dafs diefelben gleichfam als felbftändige fchmale Tonnengewölbkörper mit der Gratlinie in ihrer Laibungsfläche verfehen auftreten. Die Lagerflächen der Gratfteine follen dieferhalb zur Wölblinie des Grates, alfo zur Gratlinie felbft und deren Ebene fenkrecht ftehen. Aufserdem follen diefe Gratfteine aber auch für die Wölbfteine der Kappen geeignete Lagerflächen und namentlich durchweg lotrechte Stofsflächen als Anfatzflächen bieten.

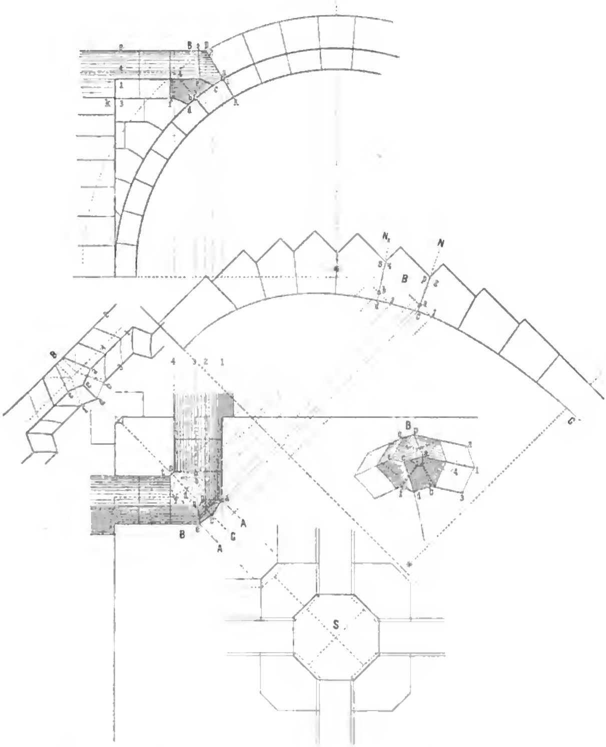
Hierdurch werden Hakenfteine und ebenfo etwaige fcharfe Schneiden an den Wölbfteinen, foweit diefelben an die Seiten der Grate treten, vermieden; die Grate felbft aber werden in geeigneter Weife als Träger des Gewölbes eingeführt. Den geftellten Bedingungen ift der in Fig. 213 gegebene Fugenfchnitt für ein Kreuzgewölbe mit quadratifchem Grundrifs unterzogen worden.

Die Randbogen find Halbkreife. Die Fugenteilung ift für alle Randbogen diefelbe. Das Gewölbe erhält keine Stechung; feine Gratbogen find halbe Ellipfen. Für die Wölbfteine der Grate ift in erfter Linie die Breite $AA = 2\,GA$ als normale Breite der unteren Begrenzung der vorhin bezeichneten Lagerfugenfläche der Gratfteine feftzufetzen. Wenngleich diefe Breite beliebig grofs gewählt werden kann, fo ift doch zur Vermeidung des Zufammenfchneidens der noch näher zu beftimmenden, von *a* und *e* ausgehenden Schnittlinien der normalen Lagerflächen am Gratftein mit den Lagerflächen der eigentlichen Kappenfteine die Entfernung AA unter Berückfichtigung der Teilung der Stirnbogen nicht zu gering zu nehmen. Im allgemeinen wird die Breite $AA = 25$ bis 30 cm genommen.

Um die Projektionen irgend eines Gratfteines, z. B. von *B*, zu beftimmen, hat man zu beachten, dafs die wagrechte Lagerkante *1* eines Kappenfteines mit der Lagerfuge *1 2* die in *A* parallel zur Richtungsebene *G* des Grates gedachte fenkrechte Ebene im Punkte *a* trifft. Führt man durch *a* die Normalebene *N* zu der Gratlinie *G*, fo fchneidet diefelbe diefe Gratlinie in *c* und die Laibungsflächen der Kappen nach den Linien *ca*, bezw. *ce*. Diefe Schnittlinien können nach den Angaben in Art. 147 (S. 249) näher

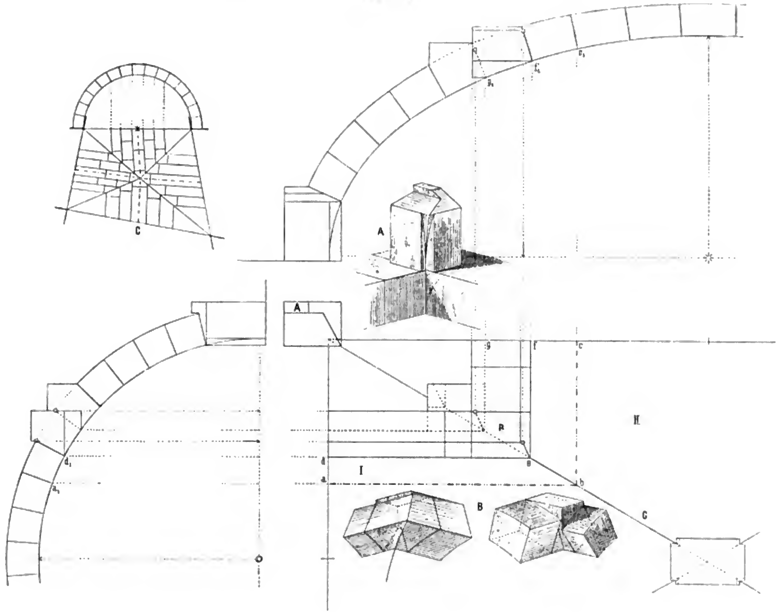
feftgelegt werden. Die wagrechte Erzeugende *2* der Lagerfugenfläche *1 2* trifft die Normalebene *N* im Punkte *p*, fo dafs, wie aus der Zeichnung zu erkennen, *ap*, bezw. *eq* die Schnittlinien der normalen Lagerfläche für *N* mit den Lagerflächen der Kappenfteine werden. Begrenzt man den Gratftein *B* oben durch eine den Punkt *p* enthaltende wagrechte Ebene, fo ift hiermit auch die Rückenfläche diefes Steines

Fig. 213.



beftimmt. Für die zweite normale Lagerfläche *bdfts* desfelben ift die Normalebene N_1 mafsgebend. Diefelbe ift durch den Punkt *b* zu führen, in welchem die Lagerkante *3* der Lagerfuge *3 4* des betrachteten Kappenfteines die vorhin erwähnte Ebene *A* trifft. Die Beftimmung der Schnittfläche *bdfts* erfolgt genau in der für die Schnittfläche *aceqp* angegebenen Weife. Führt man durch die Punkte *s*

Fig. 214.



bezw. *t* lotrechte, parallel zu den Stirnen der am Gratftein *B* zufammenftofsenden Kappen genommene Ebenen, fo ergeben fich die Stofs- oder Anfatzflächen für die angrenzenden Kappenfteine. Oberhalb der Geraden *ts* wird der Gratftein lotrecht abgefchnitten. Aus der Zeichnung find die fämtlichen Projektionen diefes Steines, welche für das Anfertigen feiner Brettungen mafsgebend werden, zu entnehmen. Bei der Anwendung des befchriebenen Fugenfchnittes nehmen fowohl die Gratfteine, deren Projektionen der Reihe nach feftzulegen find, als auch der Schlufsftein im Grundrifs eine polygonale Geftalt an.

Bei Kreuzgewölben aus Quadern über einem rechteckigen Grundrifs kann nach Fig. 214 der Fugenfchnitt in der folgenden Weife angeordnet werden. 354. Quadergewölbe über rechteckigem Grundrifs.

Teilt man den Randbogen der kürzeren Seite, welcher hier als Halbkreis angenommen ift, in eine ungerade Anzahl gleich grofser Wölbfteine ein und legt man, den Teilpunkten a_1, d_1 u. f. f. entfprechend, die wagrechten Projektionen der ihr zugehörigen Lagerkanten *ab*, *de* u. f. f. parallel mit der Scheitellinie der kleinen Gewölbkappe *I* feft, fo kann man die auf der Gratlinie *G* liegenden Punkte *b*, *e* u. f. f. als Ausgangspunkte für die wagrechten Projektionen der Lagerfugenkanten *bc*, *ef* u. f. f. der breiteren Kappe *II* annehmen. Diefe Kanten laufen parallel mit der Scheitellinie diefer Kappe. Da dem Kreuzgewölbe keine Stechung gegeben ift, fo find fämtliche Lagerfugenkanten wagrechte Linien. Der Randbogen der Kappe *II* ift eine halbe Ellipfe. Die Lagerfugenkanten *bc*, *ef* u. f. f. haben in der wagrechten Projektion einen gröfseren Abftand als die Lagerkanten *ab*, *de* u. f. f. der Kappe *I*, und infolge hiervon werden, da die Lagerkanten *bc*, *ef* u. f. f. die Teilungen der Wölbfteine am elliptifchen Randbogen der Kappe *II* bedingen, die Wölbfteine diefer Kappe in ihrer wagrechten Projektion breiter als bei den zugehörigen Wölbfteinen der Kappe *I*. Aus leicht erfichtlichen Gründen werden aber auch die Bogenlängen $c_1 f_1$, $f_1 g_1$ u. f. f. für die einzelnen Wölbfchichten der Kappe *II* verfchieden grofs, fo dafs der Randbogen derfelben eine ungerade Anzahl ungleich grofser Teilungen erhält. Bei diefer Anordnung geftaltet fich der Fugenfchnitt für die einzelnen Gratfteine, mögen diefelben hakenförmige Anfätze erhalten oder frei von denfelben bleiben, äufserft einfach. Die Ermittelung der Projektionen eines beliebig gewählten Gratfteines *B*, welcher noch durch eine perfpektivifche Darftellung in feiner Vorder- und Rückfeite näher verdeutlicht ift, ergiebt fich ohne weitere Ausführungen aus der Zeichnung. Ebenfo ift die Durchbildung des Anfängers leicht zu erkennen. In derfelben Weife kann der Fugenfchnitt, wie die Zeichnung in *C* angiebt, auch für unregelmäfsige Kreuzgewölbe eingeführt werden. Die Lagerfugenkanten find in der wagrechten Projektion parallel zu den Scheitellinien der zugehörigen Kappen zu legen, während die Stofsfugenkanten rechtwinkelig zu den Lagerkanten unter Beobachtung eines regelrechten Verbandes der Wölbfteine zu nehmen find.

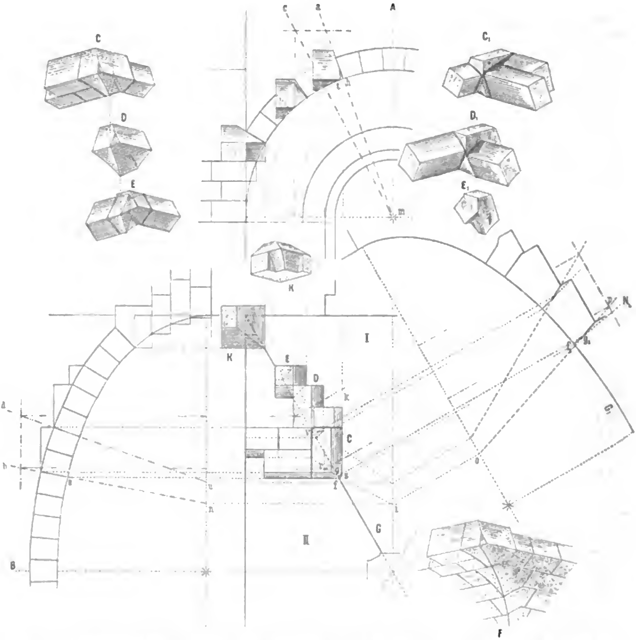
Der befchriebene Fugenfchnitt kann aber z. B. bei fehr langgeftreckten rechteckigen oder fehr unregelmäfsig geftalteten Grundriffen vermöge der ungleichen Breiten der Wölbfteine in einzelnen Kappen ein unfchönes Anfehen der Gewölbbildung im Gefolge haben; auch fordert derfelbe, fo einfach an fich die Bearbeitung der Gratfteine wird, doch immer bei der Herrichtung der Wölbfteine der mit verfchieden grofsen Wölbfchichten behafteten Kappen einen erhöhten Arbeitsaufwand. In folchen Fällen ift diefer Fugenfchnitt zu verlaffen. An feine Stelle tritt alsdann beffer der in Fig. 215 behandelte Steinfchnitt.

Hierbei erhält fowohl der kleinere Randbogen *A*, als auch der gröfsere Stirnbogen *B* eine ungerade Anzahl je für fich gleich grofser Teilbreiten und diefen Teilungen entfprechend fo geordnete Gratfteine, dafs, je nach Wunfch, eine oder zwei Wölbfchichten der zufammentretenden Kappen *I* und *II* gegen einen Gratftein treten. Die hierzu nötigen Stofsflächen gehören rechtwinkelig zu den Lagerkanten geftellten Ebenen an. Sollten die Gratfteine hakenförmig gebildet werden, fo wird hierdurch am Fugenfchnitt keine wefentliche Abänderung gefchaffen. Bei einem Gratfteine *C* ift die Lagerfugenkante der fenkrecht zum Randbogen *B* ftehenden Lagerebene *nb*, im Zufammenhange mit dem Punkte *e*, in ihrer wagrechten Projektion bis zum Punkte *f* auf der Grundrifsprojektion *G* des Gratbogens fortgeführt. Diefer Lagerkante liegt die Lagerfugenkante *k*, welcher einer Lagerfugenebene *ma*, alfo dem Punkte *h* der Kappe *II* angehört, am nächften.

Die Ebenen *ab* und *ma* liefern eine gerade Schnittlinie, deren wagrechte Projektion als *ir*, wie aus der Zeichnung zu erfehen ift, beftimmt wird. Die Lagerfugenkanten, welche den Punkten *e* und *h* angehören, haben aber im allgemeinen eine voneinander verfchiedene Höhenlage über der Kämpferebene des Gewölbes, fo dafs die Gerade *ir* nicht durch den Punkt *f* geht. Am Gratftein *C* liegt die durch *f* gehende Lagerkante der Kappe *II* tiefer als die Lagerkante *k* der Kappe *I*. Führt man nun durch den

tiefer gelegenen Punkt f am Gratbogen eine Normalebene, welche in der Hilfsprojektion G_1 als $f_1 N_1$ entfpringt, fo fchneidet diefelbe von den beiden über k und f liegenden Lagerflächen ein mehr oder weniger grofses, fenkrecht zum Gratbogen ftehendes Flächenftück ab. Die Projektionen diefes Stückes laffen fich unter Beachtung der Projektion $o p$, welche der Schnittlinie $i r$ entfpricht, im Hinblick auf die Zeichnung leicht ermitteln, fobald nur noch nach dem in Art. 147 (S. 249) Vorgeführten die Projektionen $f s$ und $t h$ der Schnittlinie, welche die Normalebene $f_1 N_1$ auf der Kappe I hervorruft, berückfichtigt werden. In derfelben Weife ergiebt fich auch die Grundrifsprojektion der Normalfchnittfläche v am Gratfteine C, wofür die nötigen zeichnerifchen Durchführungen noch näher in Fig. 215 mit angegeben

Fig. 215.



find. Auf gleichem Wege find auch die Projektionen der Gratfteine D und E erhalten. Im Bilde find diefe Steine in Vereinigung mit den anftofsenden Gewölbfteinen der Kappen fowohl von der Vorderfeite, wie in C, D, E, als auch von der Rückfeite, wie in C_1, D_1, E_1, noch befonders gegeben. Die Darftellung F zeigt das Zufammenfügen der Gratfteine mit den Kappenfteinen, während K dem oberen Stücke des Gewölbanfängers angehört, welcher unterhalb K hier aus wagrecht übereinander liegenden Schichten ausgeführt ift.

Das Verfetzen der Quader bei Kreuzgewölben, das Einführen des Mörtels u. f. w. folgt dem in Art. 51 (S. 106) Gefagten.

b) Gotiſche Kreuzgewölbe.

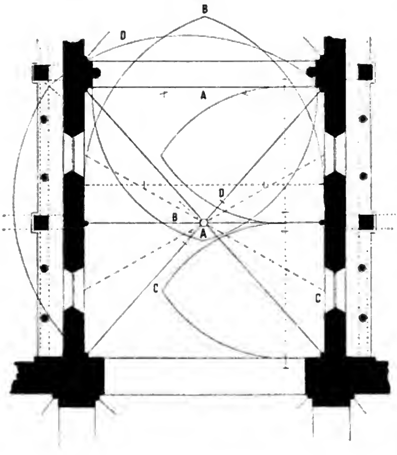
Das Weſen der gotiſchen Kreuzgewolbe, wodurch ſich dieſelben von allen anderen Gewölben unterſcheiden, iſt hinſichtlich ihrer Geſtaltung in Art. 118 (S. 208) durch einige allgemeine Grundzüge gekennzeichnet, welche ihre Ableitung in der Betrachtung der weiteren Entwickelung des romaniſchen Kreuzgewölbes gefunden haben. 155. Weſen.

Die beſondere Bildung dieſer in der Baukunſt eine hervorragende Stellung einnehmenden Gewölbe hat aber noch mannigfache und wichtige Punkte zu berückſichtigen, welche die kunſtvolle Technik in der Anlage und Ausführung dieſer Gewölbkörper an ſich und in ihrem Zuſammenhange mit den zugehörigen Widerlagsteilen näher berühren.

Die Kreuzgewölbe der Blütezeit der Gotik bekunden ein beſonders in den Vordergrund tretendes Beſtreben, welches darauf gerichtet war, die Wölb- und Widerlagsmaſſen ſo zu gliedern und unter Beſeitigung von ängſtlichen Teilungen beim Zerlegen gröſserer zu überwölbender Räume ſo zu geſtalten, daſs unter dem Aufwande aller Sorgfalt beim Schaffen der mit ſicherer Standfähigkeit behafteten Bauwerke kein Teil derſelben einen verletzenden Ueberfluſs an Material zeigen ſollte. Konſtruktionsſyſtem und Form ſind in eine innige, ſich gegenſeitig bedingende Verbindung gebracht, gerecht und wohl geordnet.

Als ein weſentliches Hilfsmittel zur Erzielung dieſer Verbindung iſt die Verwendung des Spitzbogens anzuſehen. Weſentlicher aber noch iſt bei den gotiſchen Gewölben die Teilung des Gewölbfeldes durch ſelbſtändige Gurt-, Grat- oder Rippenkörper. Dieſe bilden in ihrer geſamten Anordnung ein eigentliches Tragſyſtem; ſie nehmen zwiſchen ſich die beſonders gewölbten Kappenſtücke auf und übertragen die Geſamtlaſt der Deckenbildung auf einzelne beſtimmte Stützpunkte. Dieſe Punkte bedingen die weitere Ausbildung der Widerlagskörper, welche im allgemeinen als Freiſtützen geſtaltet werden können. Sie beſonders ſtandfähig herzurichten, ohne dabei an Material zu verſchwenden, iſt eine vorwiegende Bedingung. An den hauptſächlichſten Stützpunkten angelegte Strebepfeiler oder mit Strebe-

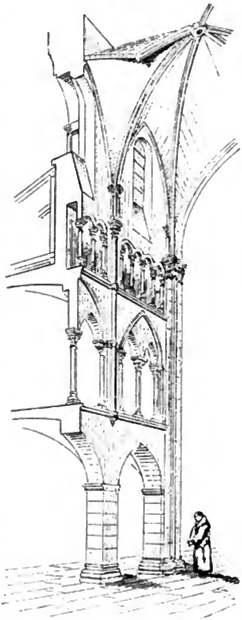
Fig. 216.



pfeilern verbundene, frei auffteigende Strebebogen entfprechen jener Bedingung. So entfteht ein vollftändig gegliedertes Gewölb- und Stützenfyftem, welches an und für fich und unabhängig von dem zwifchen den Stützen einzufügenden Mauerwerke der Umfangs- oder Scheidemauern des zu überdeckendem Raumes, den eigentlichen Kern des ganzen Bauwerkes bildet.

Im Gefolge hiervon fteht die freie Auflöfung der Maffen. Die Umfangsmauern, wenig oder gar nicht vom Gewölbfchube berührt, bedürfen keiner erheblichen Stärke: fie können in ausgiebigfter Weife durchbrochen oder, mit Oeffnungen verfehen, fich dem gefamten Organismus des Bauwerkes einfügen. Immer behält die Konftruktion des Gewölb- und Stützenfyftems die Herrfchaft. Bei dem gewiffenhaften Abwägen der Maffen, möglichft entfprechend den in ihnen wachgerufenen Kräften, ift in Abhängigkeit von der Konftruktion die Form des Bauwerkes abzuleiten, zu gliedern und kunftgerecht zu bilden.

Fig. 217.



Ift auch bei den fechsteiligen Kreuzgewölben (vergl. Art. 117, S. 206) aus der Mitte des XII. Jahrhunderts eine Teilung des Gewölbfeldes durch Kreuzrippen mit durchlaufender Mittelrippe mehrfach, in Deutfchland namentlich im rheinifchen Uebergangsftil, vorgenommen; ift auch, wie z. B. beim Hauptgewölbe des Domes zu Limburg an der Lahn (Fig. 216 u. 217), aus dem Anfange des XIII. Jahrhunderts, diefe Teilung unter Verwendung von Spitzbogen, ja felbft unter Einführung der feitlichen Abfteifung durch Strebebogen zum Ausdruck gelangt — fo ift diefes Wölbfyftem im allgemeinen doch wieder verlaffen und für die Konftruktion der gotifchen Gewölbe nicht durchfchlagend geworden.

Die Schmiegfamkeit der Spitzbogenform, welche einen zweckmäfsigen, leicht zu fchaffenden Zufammenhang der Höhenverhältniffe der danach geftalteten einzelnen Gurt-, Grat- oder Diagonalbogen untereinander ermöglichte, gleichgültig, ob das Gewölbe über quadratifchen, rechteckigen oder mehr oder weniger unregelmäfsig geordneten Grundriffen ausgeführt werden follte, war dazu angethan, die fchwieriger in Einklang zu bringenden Halbkreisbogen, befonders in ihrer Anwendung als Rand- oder Stirnbogen, zu verdrängen. Unter Hinweis auf das in Art. 118 (S. 208) Gefagte möge nochmals betont werden, dafs in der Herrichtung der felbftändig nach der ftatifch günftigen Spitzbogenlinie gebildeten Rippenkörper und in der mit Bufung dazwifchen eingewölbten Kappenftücke, welche dem Teile eines Kugelgewölbes entfprechen oder demfelben ähnlich find, befondere Merkmale der gotifchen Gewölbe auftreten. Die

Rippenkörper gehören fchmalen Streifen eines cylindrifchen Gewölbes, bezw. eines Tonnengewölbes an, während die Kappenftücke im allgemeinen fphärifchen, bezw. fphäroidifchen Gewölben zuzuweifen find.

Im folgenden follen die Geftaltungen der gotifchen Kreuzgewölbe eingehender befprochen werden.

1) Einfache gotifche Kreuzgewölbe.

Für die Geftaltung und Darftellung eines einfachen gotifchen Kreuzgewölbes möge zunächft ein folches über einem quadratifchen und einem rechteckigen Grundriffe, unter Angabe der Bezeichnungen feiner Beftandteile, Berückfichtigung finden. Die Grundrifsfigur bildet das Gewölbfeld oder das Gewölbjoch. Die Diagonalen des Gewölbfeldes find die wagrechten Projektionen der Diagonal- oder Kreuzbogen. Ueber den Seitenlinien des Gewölbfeldes erheben fich die Rand- oder Stirnbogen. Treten mehrere Gewölbfelder im Grundrifs zufammen, fo werden die Randbogen, welche die einzelnen Joche voneinander fcheiden, auch Gurtbogen oder Scheidebogen genannt. Sind die Randbogen unterhalb ihrer Laibung durch volles Mauerwerk oder durch Mauerwerk mit befonders darin angelegten Oeffnungen gefchloffen, fo führen fie den Namen Schildbogen. 156. Bezeichnungen.

Erhalten die erwähnten Bogen eine vor der eigentlichen Gewölbfläche ausladende, einfach oder reich gegliederte Anordnung, fo heifsen fie allgemein Rippen. Man unterfcheidet nach der Stellung derfelben Kreuzrippen, Gurtrippen und Schildbogenrippen. Spannweite, Pfeilhöhe, Pfeilverhältnis, Scheitel, Schlufsftein entfprechen auch hier den früher in Art. 3 (S. 2) gegebenen Erklärungen. Die zwifchen dem als Skelett des ganzen Gewölbkörpers auftretenden Rippenfyfteme eingefügten Gewölbftücke heifsen Gewölbkappen oder kurz Kappen. Sie finden ihr Widerlager an den Rippenkörpern. Das Pfeilverhältnis der Wölblinie einer Kappenfchicht kennzeichnet das Mafs der Bufung oder des Bufens der Kappe.

Von Wichtigkeit für die Darftellung des einfachen gotifchen Kreuzgewölbes ift die Ausmittelung der bezeichneten Bogen hinfichtlich der Höhenlage ihrer Scheitelpunkte zu einander in Bezug auf eine gemeinfchaftliche Kämpferebene. 157. Darftellung.

Hierbei find vorzugsweife drei Fälle zu unterfcheiden:

α) die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen liegen fämtlich in gleicher Höhe;

β) die Scheitel der Randbogen liegen tiefer als der Scheitel der Kreuzbogen, und

γ) der Scheitel der Kreuzbogen liegt tiefer als der Scheitel der Randbogen. Hierbei können im befonderen auch die Scheitel der Randbogen noch in verfchiedener Höhe liegen.

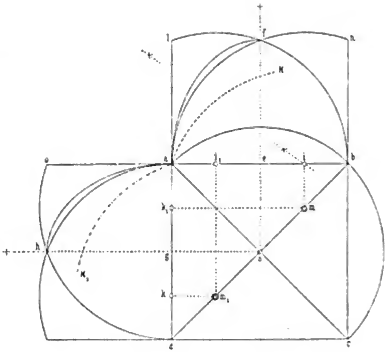
α) Die Scheitel der Rand- und Kreuzbogen gleich hoch gelegen.

Als Ausgang für die Beftimmung der Form der Randbogen dient der Kreuz- oder Diagonalbogen. Derfelbe bedingt in erfter Linie die allgemeine Höhenlage des Scheitelpunktes des zu bildenden Kreuzgewölbes. Seine Bogenlinie ift ein Halbkreis oder ein Spitzbogen. Letzterer wird häufig und zweckmäfsig als ein nur mäfsig vom Halbkreis abweichender ftumpfer Spitzbogen behandelt, deffen Pfeilhöhe demnach wenig mehr beträgt als feine halbe Spannweite. Bei hoch anftrebenden Kreuzgewölben tritt ftatt diefes ftumpfen Spitzbogens der mehr oder weniger fteil geformte Spitzbogen als Kreuzbogen auf.

158. Quadratifcher Grundrifs.

Ift in Fig. 218 das Quadrat *abcd* der Grundrifs des Gewölbfeldes und wird ein Diagonalbogen über *ac*, bezw. *bd* als Halbkreis mit dem Halbmeffer *sa* gewählt, fo ift hierdurch die Scheitelhöhe des Kreuzgewölbes über der wagrechten Kämpferebene gleichfalls in *sa* gegeben. Die ihr gleichen Höhen *ef*, bezw. *gh* follen für die als Spitzbogen zu konftruierenden Randbogen *afb*, bezw. *ahd* beibehalten werden. Die Mittelpunkte der einzelnen Schenkel der Randbogen ergeben fich in bekannter Weife in i, i_1, bezw. k, k_1. Bemerkt fei, dafs bei diefer Darftellung der Kreuz- und Randbogen die Halbmeffer $ai = bi_1 = ak = dk_1$ nach einer einfachen geometrifchen Beziehung gleich $^3/_4$ der Seitenlänge *ab* des quadratifchen Grundriffes find. Die entftehende Bogenform ift nicht ungünftig. (Vergl. Art. 9, S. 15.)

Fig. 218.



Die zwifchen den Schenkeln der Randbogen und den halben Diagonalbogen liegenden Kappen können ohne weiteres reine Kugelflächen als Laibung erhalten.

Auf Grund der in Art. 118 (S. 209) gegebenen Entwickelungen ift *m* als Schnitt des Lotes *im* auf *ab* und des Lotes *sm* auf *ac* der Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenteiles *aes* und der um *m* mit dem Halbmeffer *ma* befchriebene Kreis *K* ein gröfster Kreis diefer Fläche. Ebenfo ift m_1 als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenteiles *ags* mit dem gröfsten Kreife K_1 zu beftimmen. Die nach *gs*, bezw. *es* genommenen lotrechten Kugelfchnitte liefern fofort die als Kreisbogen vorhandenen Scheitellinien *lf*, bezw. *oh*, deren Mittelpunkte in i_1, bezw. k_1 bereits beim Feftlegen der Randbogen erhalten wurden.

Bei diefer Ausmittelung der Beftandteile des hier behandelten Kreuzgewölbes zeigt fich ein inniger geometrifcher Zufammenhang derfelben untereinander. In konftruktiver Beziehung tritt eine Vereinigung der nach Art fchmaler Tonnengewölbe herzurichtenden Kreuz- und Stirnrippen mit Kugelgewölbftücken der Kappen auf, wodurch zugleich die Bufung der Kappenfchichten feftgelegt ift.

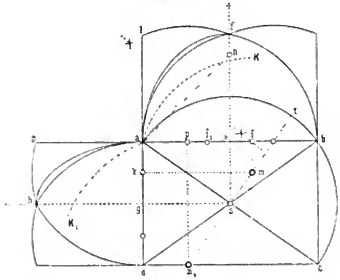
Soll bei der Aufrechterhaltung der Form der Rippen für die Wölbung der Kappen eine von der Kugelfläche abweichende Bufung angenommen werden, fo dafs die Wölbfläche nach einem anderen, mit gewiffer Freiheit aufzuftellenden Gefetze zu einer fphäroidifchen Fläche auszubilden ift; oder foll unter Umftänden bei der Einführung einer geraden Scheitellinie für die Kappen gar keine Bufung fich geltend machen — fo entftehen hierdurch keine nennenswerten Schwierigkeiten. Hiervon wird bei der Ausführung der Kappenmauerung gotifcher Gewölbe noch näher die Rede fein. Immerhin erfcheint aber die befprochene einfache Geftaltung der Kappenftücke nach Kugelflächen, welche in unmittelbarem und innigem Zufammenhange mit der Form des Gewölbgerippes ftehen, als folgerichtig, auch in Rückficht auf ihre Stabilitätsunterfuchung und Ausführung als zweckmäfsig.

Würde für den Kreuzbogen ftatt des Halbkreifes ein mehr oder weniger hoher Spitzbogen gewählt und alsdann feine Pfeilhöhe für die Scheitelhöhe der Randbogen zu Grunde gelegt, fo erleiden die mafsgebenden Entwickelungen hinfichtlich der Feftftellung der Form diefer Randbogen und der Kugelflächen der Kappen keine Aenderung.

159. Rechteckiger Grundrifs

Bei dem Gewölbfelde mit rechteckigem Grundrifs *abcd* (Fig. 219) fei der Diagonalbogen über *ac*, bezw. *bd* wiederum ein Halbkreis mit dem Halbmeffer *sa*. Hierdurch ift die Scheitelhöhe $st = sa$ beftimmt und danach die Höhe der Randbogen $ef = gh = st$ genommen.

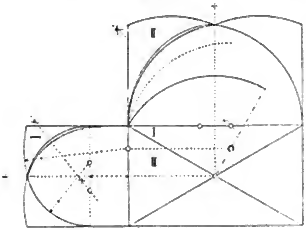
Fig. 219.



Die Mittelpunkte des Randbogens *afb* der langen Seite des Rechteckes werden in *i*, bezw. i_1 gefunden; die Mittelpunkte für den Randbogen *ahd* liegen in den Endpunkten *a*, bezw. *d* der kleinen Seite des Rechteckes. Diefer Randbogen umfchliefst alfo ein gleichfeitiges Dreieck.

Bei einem rechteckigen Grundrifs tritt diefe Lage der Mittelpunkte des Randbogens der kleinen Seite bei gleicher Höhenlage der Scheitel von Rand- und Kreuzbogen ftets ein, fobald letzterer ein Halbkreis ift und fobald zugleich die Länge der kleinen Seite *ad* des Rechteckes gleich der Hypotenufe *an* eines rechtwinkeligen und gleichfchenkeligen Dreieckes genommen wird, deffen Katheten *ea* und *en* gleich der halben grofsen Rechteckfeite *ab* find. Bei diefen Abmeffungen wird der Randbogen der grofsen Seite ein ziemlich ftumpfer, aber fonft nicht ungünftig geformter Spitzbogen, während der Randbogen der kleinen Seite verhältnismäfsig fchlank gebildet erfcheint. Würde die Seite *ad* kleiner als *an* werden, fo würden die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens unter der Annahme der gleichen Scheitelhöhen für fämtliche Hauptbogen des Kreuzgewölbes nunmehr über *a* und *d* hinausfallen und fomit einen fehr fteil auffteigenden Spitzbogen bedingen. Das hier angegebene Verhältnis der Seitenlängen des Gewölbfeldes kann als ein Grenzmafs infofern angefehen werden, als bei fehr fchmalen, rechteckigen Gewölbfeldern zur Vermeidung eines fehr fteilen Spitzbogens der kleinen Rechteckfeite oft vorteilhafter ein ftumpferer Randbogen, wie in Fig. 220 gewählt werden müfste, welcher zur Erzielung der vorgefchriebenen gleichen Höhenlage feines Scheitels mit den Scheitelpunkten des Kreuzbogens und des Randbogens der langen

Fig. 220.



Rechteckfeite eine Stelzung zu erfahren hätte. Alsdann erhielten die Kappen *II* der fchmalen Seiten bei der Beobachtung einer Bufung fphäroidifche Laibungsflächen, während bei dem in Fig. 219 angenommenen Verhältniffe der Breite zur Länge des Gewölbfeldes fich für diefe Kappen ebenfowohl, alfo auch für die Kappen der langen Seite, die Laibungen als Kugelflächen geftalten laffen. Ohne weitere Bedingungen zu ftellen, ergeben fich die Mittelpunkte diefer Kugelflächen in m für die Kappe ase mit dem gröfsten Kreife K und in m_1 für die Kappe asg mit dem gröfsten Kreife K'_1; auch find hiernach in hinlänglich gekennzeichneter Weife die Scheitellinien über se und sg als die um k, bezw. p befchriebenen Kreisbogen ho, bezw. fl zu beftimmen.

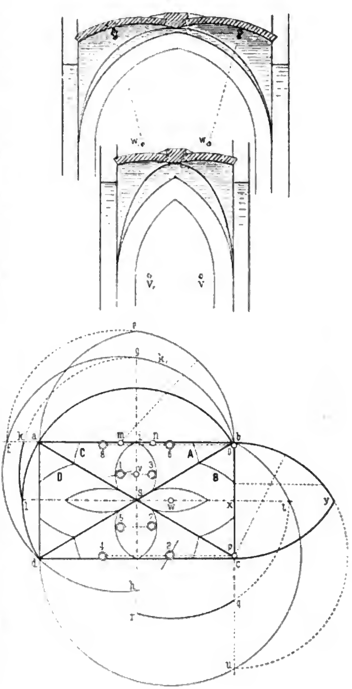
β) Die Scheitel der Randbogen tiefer als die Scheitel der Kreuzbogen gelegen.

160.
Rechteckiger Grundrifs:
gleiche Halbmeffer.

Für das Austragen der Randbogen gelten nach Annahme der Form der Kreuzbogen diefelben Grundlagen, fowohl für quadratifche, als auch für rechteckige Gewölbfelder.

Um zwifchen dem Diagonal- und Randbogen einen einfachen Zufammenhang zu erhalten, find bei vielen Kreuzgewölben des gotifchen Bauftils die fämtlichen Bogen der Rippen mit gleichem Halbmeffer gefchlagen. Die hierdurch bedingten Gewölbanordnungen follen für ein rechteckiges Gewölbfeld $abcd$ nach Fig. 221 getroffen werden.

Fig. 221.



Die kleine Seite bc des Rechteckes fei noch etwas gröfser als die Hälfte bs einer Diagonale bd. Der Diagonalbogen fei der Halbkreis dab, fo dafs $sb = sd$ der für die Geftaltung der Randbogen beftimmende Halbmeffer wird. Trägt man $bm = an = sb$ auf der langen Seite ab von den Ecken b und a aus ab, fo find m und n die Mittelpunkte des zugehörigen Randbogens bea. Beftimmt man in gleicher Weife die Punkte p und o auf der kleinen Seite bc durch $bp = co = sb$, fo find diefe Punkte Mittelpunkte des kleinen Randbogens byc. Beide Randbogen werden Spitzbogen mit den

Höhen *ie*, bezw. *xy* über der Kämpferebene. Diefe Höhen find unter fich verfchieden und ftets kleiner als die Scheitelhöhe des Kreuzbogens.

Giebt man den Kappen reine Kugelflächen zur Laibung, welche unmittelbar von den feftgelegten Kreuz- und Randbogen in Abhängigkeit gefetzt werden, fo ift der Punkt *1* als Schnitt der nicht weiter gezeichneten Lote in *s* auf *bs* und in *m* auf *ab* der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück über *isb*. Der gröfste Kreis derfelben enthält in der Kämpferebene die Punkte *b*, *g*, *f*, *d*, *h*. Ebenfo ift der Punkt *2* als Schnitt von Loten in *s* auf *bs* und in *p* auf *bd* als Mittelpunkt der Kugelfläche für den Kappenteil über *xsb* zu ermitteln. Der gröfste Kreis diefer Fläche befitzt in der Kämpferebene die Punkte *b*, *t*, *u*, *d*. In entfprechender Weife wird *3* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück *isa*, *4* als Mittelpunkt der Kugelfläche für das Stück *lsa* gefunden, fo dafs hiernach auch leicht die Punkte *5*, *6*, *7* und *8* als Mittelpunkte der übrigen Kugelflächen anzugeben find. Weiter ergiebt fich unter Benutzung der Mittelpunkte der einzelnen Kugelflächen in *v* der Mittelpunkt für den Kreisbogen *kl* der Scheitellinie über *is* mit dem Halbmeffer *vg*, fowie in *w* der Mittelpunkt des Kreisbogens *qr* der Scheitellinie über *xs* mit dem Halbmeffer *wt*. Nach diefen Ausmittelungen find Längen- und Querfchnitt des Gewölbkörpers leicht darzuftellen.

Führt man durch das Gewölbe wagrechte Schnitte, fo entftehen auf den Laibungsflächen der Kappen Kreisbogen als Schnittlinien, deren wagrechte Projektionen wie in *A* aus *1*, in *B* aus *2*, in *C* aus *3*, in *D* aus *4* u. f. f. zu befchreiben find. Diefe Schnittlinien kennzeichnen die vorfpringende Eckbildung der Kappen am Diagonalbogen.

Wird die kleine Seite des rechteckigen Gewölbefeldes gleich der Länge *bs*, fo wird der Randbogen ein Spitzbogen, deffen Mittelpunkte mit den Eckpunkten *b* und *d* zufammenfallen. Ift die Länge der kleinen Seite geringer als die Länge der halben Diagonale *bd*, fo treffen die Mittelpunkte des Randbogens in der Verlängerung von *bc* über die Eckpunkte *b* und *c* hinaus.

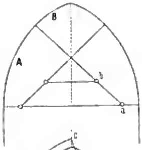
Infolge hiervon entfteht ein fteiler, lanzettförmiger Spitzbogen für die Seite *bc*. In Rückficht auf den weniger fchlanken Spitzbogen der langen Seite und unter Beachtung der Form des Abfchlufsbogens einer Oeffnung, welche in einer etwa anzulegenden Stirnmauer *bc* angebracht werden follte, kann aber ein derart fteil auffteigender Randbogen nicht immer als günftig erfcheinen. Bei der Anwendung gleicher Halbmeffer für Kreuz- und Randbogen bei quadratifchem Gewölbfelde tritt die Verfchiedenheit der Randbogen nicht ein. Diefelben haben wohl eine tiefere Scheitellage als der Kreuzbogen, aber fonft unter fich gleiche Scheitelhöhen. Letzteres ift bei einem rechteckigen Gewölbfelde nicht der Fall. Der Randbogen der kleinen Seite erhält dabei ftets eine geringere Höhe als der Randbogen der grofsen Seite.

Das eigentliche Wefen der Geftaltung der Randbogen erleidet keine Aenderung, wenn für den Kreuzbogen an die Stelle eines Halbkreifes ein Spitzbogen tritt, deffen Halbmeffer für die Bildung der Randbogen als gegebene Gröfse benutzt wird.

Die Annahme gleicher Halbmeffer für die Bogenform des Rippenfyftems bietet den Vorteil eines gleichartig gebildeten Auslaufes der Bogenanfätze von ihrem gemeinfchaftlichen Stützpunkte an den Ecken des Gewölbfeldes. Die Ausführung der Gewölbanfänge wird hierbei erleichtert; auch wird bei profilierten Rippenkörpern ein regelmäfsiges Loslöfen der einzelnen Gliederungen am Anfänger ermöglicht. Die unmittelbare Abhängigkeit der Scheitelhöhen der einzelnen Bogen von dem einmal feftgefetzten Halbmeffer kann jedoch ab und an für eine befonders geplante Gewölbanordnung ftörend wirken. So kann die Forderung geftellt werden, den Randbogen des rechteckigen Gewölbfeldes gleiche Scheitelhöhen zu geben und dennoch die Anfätze der Kreuz- und Randbogen mit gleichem Halbmeffer zu fchlagen. Um diefer Bedingung zu genügen, kann nach Fig. 223 beim Innehalten des beftimmten Halbmeffers *ac* der Randbogen *A* der grofsen Seite durch einen Randbogen *B* erfetzt werden, deffen Mittelpunkt *b* auf der gehörig verlängerten Geraden *ca* fo tief unter der Kämpferlinie angenommen wird, bis die gewünfchte Scheitelhöhe des Randbogens *B*, entfprechend der Scheitelhöhe des Randbogens der kleinen Seite, über der Kämpferebene erzielt ift. Hierdurch entfteht der fchon in Art. 9 (S. 17) erwähnte gedrückte Spitzbogen. Ift die Verfchiebung *ab* der Mittelpunkte für *A* und *B* nicht erheblich, fo ift ein derart geformter Spitzbogen, obgleich durch feine

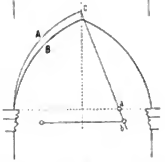
Verbindung mit dem anftofsenden Kreuzbogen und dem Randbogen der kleinen Rechteckfeite nicht vollftändig regelmäfsig zu bildende Gewölbanfänger entftehen, fehr wohl zu benutzen.

Fig. 222.



Bei diefem gedrückten Spitzbogen fteht die Tangente im Kämpferpunkte nicht fenkrecht zur Kämpferebene. Mit der lotrechten Begrenzungslinie des ftützenden Widerlagers ergiebt fich im Anfatzpunkte des Spitzbogens ein ftumpfer Winkel oder ein Knick. Aus diefem Grunde führt ein folcher Bogen auch die Bezeichnung Knickbogen.

Fig. 223.

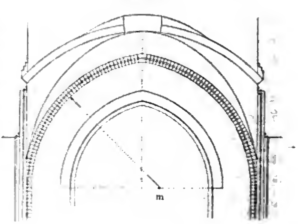


Soll ein Knickbogen vermieden werden, fo kann, wenn bei der Forderung der Einfchränkung der Scheitelhöhe des grofsen Randbogens noch die Bedingung der Benutzung gleich grofser Halbmeffer für die Anfätze der Kreuz- und Randbogen geftellt wird, ein aus zwei fymmetrifchen Korbbogen zufammengefetzter Spitzbogen in Anwendung kommen.

In Fig. 222 ift ein derartiger Spitzbogen gegeben. Der Anfatzbogen *A* ift mit gegebenem Halbmeffer um den in der Kämpferebene liegenden Mittelpunkt *a* befchrieben. Durch *a* ift ein fonft beliebiger, hier unter einer Neigung von 45 Grad zur Wagrechten angenommener Strahl gezogen, welcher im Schnitte mit dem Bogen *A* den Endpunkt diefes Bogens beftimmt. Auf diefem Strahle wird der Punkt *b* als Mittelpunkt des mit *A* vereinigten Kreisbogens *B* fo ermittelt, dafs diefer Bogen durch den feften Scheitelpunkt des Randbogens geht.

Bei dem ftarren Innehalten eines gleichen Halbmeffers, fei es für die ganzen Kreuz- und Randbogen, fei es nur für die Anfänge derfelben, wird namentlich bei verhältnismäfsig fchmalen rechteckigen Gewölbfeldern die Geftaltung des Gewölbes oft mit einem Zwange behaftet, welcher das harmonifche Zufammenwirken der einzelnen Beftandteile verwifcht. Weit wichtiger als das Anklammern an einzelne Konftruktionsregeln find hier das richtige Abwägen der Höhen der Scheitel zu einander und die mafsvolle Bildung von Bogenformen, welche, unter fich in Vergleich gebracht, keine zu grofse Abweichung im Schwunge ihrer Linien aufweifen. Hierbei kann, als Gruppen angefehen, je für fich entweder die ftumpfere oder die fchlankere, fteilere Bogenform vorherrfchend werden. In den meiften Fällen reicht hierfür der gewöhnliche Spitzbogen aus. Bei der Schmiegfamkeit feiner Form kann derfelbe fowohl in äfthetifcher, als auch in ftatifcher Beziehung mit Leichtigkeit den gewünfchten oder vorgefchriebenen Verhältniffen angepafst werden. In befonderen Fällen ift der eigentliche Spitzbogen durch eine Stelzung in zweckmäfsige Höhenlagen mit feinem Scheitel zu bringen.

Fig. 224.



Sehr oft und voll berechtigt werden die Randbogen, wenn fie als Schildbogen dienen, nach einem Spitzbogen um *m* (Fig. 224) geformt, welcher der Bogenlinie

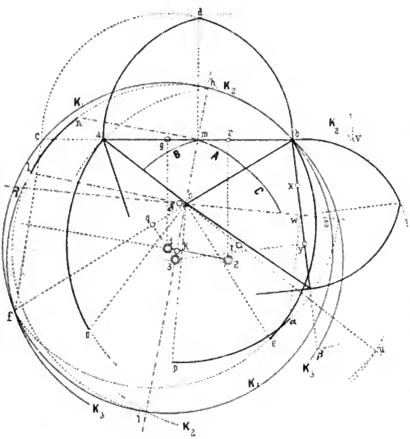
des oberen Abſchluſſes der in der Schildmauer angelegten gröſseren Licht- oder Thüröffnung konzentriſch iſt. Liegt der Kämpfer der Oeffnung höher als der Kämpfer des Schildbogens, ſo erfährt dieſer Bogen eine Stelzung.

γ) Die Scheitel der Kreuzbogen tiefer als die Scheitel der Randbogen gelegen.

Bedingen bauliche Verhältniſſe bei der Anordnung der Kreuzgewölbe für den eigentlichen Gewölbſcheitel eine tiefere Lage, als den Scheitelpunkten eines oder mehrerer Randbogen zugewieſen werden muſs, ſo kann die Geſtaltung der einzelnen Randbogen unter Beachtung der in den Fällen α und β gegebenen Erörterungen auch hier ohne Schwierigkeit vorgenommen werden. Meiſtens geht man hierbei wieder von einem gewählten Kreuzbogen aus. Sind die Höhen der Randbogen einmal feſtgeſtellt, ſo iſt hiernach eine ſchickliche Form des Kreuzbogens zu nehmen, damit ein gut geordnetes, in ſeinen Linien nicht in ſchreiendem Widerſpruch ſtehendes Bogen- und Kappenſyſtem dargeſtellt werden kann. Umgekehrt kann man bei dieſer Entwickelung auch von der Form des höchſten oder irgend eines anderen Randbogens ausgehen und danach die Kreuzbogen, ſowie die übrigen Randbogen feſtlegen. Der Spitzbogen, an ſich oder geſtelzt, liefert dabei wiederum ein weſentliches Hilfsmittel. 161. Verſchiedenheit.

Iſt ein einfaches gotiſches Kreuzgewölbe über einem unregelmäſsigen Gewölbfelde herzurichten, ſo iſt die wagrechte Projektion des Gewölbſcheitels zweckmäſsig der Schwerpunkt der Grundriſsfigur. Läſst ſich durch die Ecken einer vier- oder mehrſeitigen, völlig unregelmäſsigen Grundriſsfigur ein Kreis legen, ſo kann auch der Kreismittelpunkt, wenn derſelbe nicht zu weit vom Schwerpunkte der Fläche entfernt liegt, als Grundriſsprojektion des Gewölbſcheitels angenommen werden. Die wagrechten Projektionen der Gratbogen, welche jetzt die Stelle der Kreuzbogen über regelmäſsigen Gewölbfeldern vertreten, ſind gerade Linien, welche von der Grundriſsprojektion des Gewölbſcheitels nach den Ecken des Gewölbfeldes gezogen werden. Das Austragen der Grat- und Randbogen erfolgt in ihren weſentlichen Grundlagen ebenſo, wie bei den einfachen Ge- 162. Unregelmäſsiges Gewölbfeld.

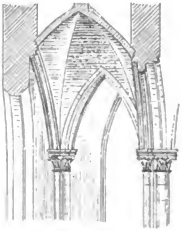
Fig. 225.

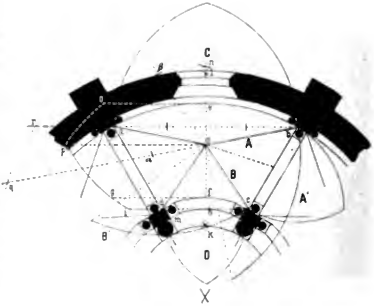


wölben über rechteckigen Gewölbfeldern. Das Nähere hierfür ſoll durch Fig. 225 angegeben werden.

Dieſelbe kennzeichnet einen Teil eines unregelmäſsigen Gewölbfeldes mit den Ecken *a*, *b* und der Grundriſsprojektion *s* des Gewölbſcheitels. Danach ſind *sa* und *sb* die wagrechten Projektionen von Gratlinien, welche die Gewölbkappe *asb* mit dem Randbogen über *ab* begrenzen. Die wagrechten Projektionen der Scheitellinien der Kappen gehen von *s* nach den Mitten der Seitenlinien. Die Geraden *sm*, bezw. *sw* entſprechen dieſer Lage. Der Gratbogen über *bs* ſei der Kreisbogen *be*, deſſen Mittelpunkt in *q* auf der Verlängerung von *bs* angenommen wurde. Hierdurch iſt die Höhe *se* des Gewölbſcheitels über der Kämpferebene feſtgelegt. Die Randbogen mögen hier eine geringere Scheitelhöhe erhalten. Nach Annahme der Höhe *md* des Randbogens *adb* ſind *g* und *r* als Mittelpunkte der Bogenſchenkel *bd* und *ad* ermittelt. Auf ganz ähnlichem Wege iſt der zweite, in *b* antretende Randbogen mit den Mittelpunkten *x* und *y* zu geſtalten. Der Gratbogen über *as* muſs die Höhe *so* gleich *se* beſitzen. Hiernach iſt derſelbe als Kreisbogen *ao* mit dem Mittelpunkte in *t*, welcher auf der Verlängerung von *as* liegt, zu zeichnen. Sollen die Kappenſtücke *A*, *B*, *C* u. ſ. w. in ihren Laibungen Kugelflächen angehören, welche von den angrenzenden Grat- und Randbogen ſofort abhängig gemacht werden, ſo werden in der genügend beſchriebenen und aus der Zeichnung noch weiter zu erſehenden Weiſe der Punkt *1* als Mittelpunkt der Kugelfläche *A* mit dem gröſsten Kreiſe K_1, der Punkt *2* als Mittelpunkt der Kugelfläche *B* mit dem gröſsten Kreiſe K_2 und der Punkt *3* als Mittelpunkt der Kugelfläche *C* mit dem gröſsten Kreiſe K_3 gefunden. Unter Benutzung dieſer gröſsten Kreiſe erhält man die Form der Scheitellinie über *ms* als Schnittlinie der beiden Kugelflächen K_1 und K_2 in dem Kreisbogen *nl*. Derſelbe iſt ein Stück vom Kugelkreiſe *h γ i*, deſſen Mittelpunkt *k* offenbar Halbierungspunkt der Geraden *hi* der Schnittpunkte *h* und *i* der gröſsten Kreiſe K_1 und K_2, oder auch einfach der Fuſspunkt des von *1*, bezw. auch von *2* auf die verlängerte Gerade *ms* gefällten Lotes ſein muſs. Beide Beziehungen ſind in der Zeichnung zu erkennen. Um den Bogen *nl* der Scheitellinie über *ms* austragen zu können, hätte man alſo entweder nur den gröſsten Kreis K_1 oder nur den gröſsten Kreis K_2 nötig gehabt. Zur Beſtimmung der Scheitellinie *αp* über *ws*, welche der Kappe *C* angehört, genügt demnach auch der gröſste Kreis K_3 der Kugelfläche *C* allein. Das vom Mittelpunkt *3* desſelben auf die Verlängerung von *ws* gefällte Lot giebt den Fuſspunkt *ζ*. Der Schnitt *z* der erweiterten Geraden *sw* mit dem Kreiſe K_3 liefert mit *ζ* in *ζz* den Halbmeſſer des um *ζ* beſchriebenen Kreisbogens *αp* jener Scheitellinie.

Fig. 226.





Das angegebene Verfahren iſt für alle Kappen des unregelmäſsigen Gewölbfeldes weiter anzuwenden. Ein wagrechter Schnitt durch das Gewölbe würde Kreisbogen auf den Laibungsflächen ergeben, welche in ihrer Grundriſsprojektion als *A* um *1*, als *B* um *2*, als *C* um *3* u. ſ. w. zu beſchreiben wären.

163. Ringförmiges Gewölbfeld. Iſt der Grundriſs des Gewölbfeldes ein Ringſtück $abcd$ (Fig. 226), ſo können die erörterten Grundlagen für die Ausmittelung der Grat- und Randbogen, bezw. der Kugelflächen der Kappen ebenfalls Platz greifen. In der Darſtellung iſt s der Schwerpunkt der Grundriſsfläche; die von s nach den Ecken derſelben gezogenen geraden Linien ſind die wagrechten Projektionen der Gratbogen.

Iſt die Scheitelhöhe des Gewölbes feſtgeſtellt, ſo werden derſelben entſprechend die Gratbogen wie A_1 für A aus α, B_1 für B aus β u. ſ. f. als Kreisbogen geſchlagen. Für die Kappenflächen $aebs$ und $cfds$ iſt die Geſtaltung mit Hilfe von ideellen Randbogen C über der Sehne ab des Kreisbogens aeb, bezw. D über der Sehne cd des Kreisbogens cfd leicht vorzunehmen. Je nach der Höhe, welche man für dieſe Bogen im allgemeinen verſchieden groſs annehmen kann, im beſonderen aber in jedem vorliegenden Falle den baulichen Verhältniſſen entſprechend wählt, entſtehen mehr ſtumpfe oder mehr ſchlanke Spitzbogen als Hilfsbogen. Die Randbogen der geraden Seiten ad und bc ſind ohne weiteres in ſchicklicher Form auszutragen. Unter Benutzung des Hilfbogens über ab und des Gratbogens über A iſt m als Mittelpunkt der Kugelfläche des Kappenſtückes über ebs mit dem durch b, n, r, q gehenden gröſsten Kreiſe in der früher angegebenen Weiſe gefunden und hierauf die Scheitellinie op über es als Kreisbogen mit dem Halbmeſſer kn geſchlagen. Für das Kappenſtück über cfs wird β der Kugelmittelpunkt und der um l mit lp beſchriebene Kreisbogen pg die lotrechte Projektion der Scheitellinie über fs. Führt man den Kreisbogen über g bis i auf dem Lote hi zu sk fort, ſo muſs hi genau der Höhe des ideellen Randbogens über cd entſprechen. Die nach ab, bezw. cd vorhandenen cylindriſchen Begrenzungsflächen durchſchneiden die antretenden Kugelflächen der Kappen nach krummen Linien, deren lotrechte Projektionen, da die Kugelflächen vollſtändig beſtimmt ſind, äuſserſt einfach ermittelt werden können. Sollen ſtatt der einfachen Gratkörper bei einem ſolchen Gewölbe Gratrippen und ebenſo an den übrigen, gekrümmten oder geraden Seiten des Gewölbfeldes Gurtrippen, bezw. Schildbogenrippen angeordnet werden, ſo iſt die weitere Durchbildung derſelben nach den in der Zeichnung vorgenommenen Ausmittelungen der Kurve, welcher ein Rippenkörper zu folgen hat, ohne Schwierigkeit zu bewirken.

2) Mehrteilige gotiſche Kreuzgewölbe.

(Stern- und Netzgewölbe.)

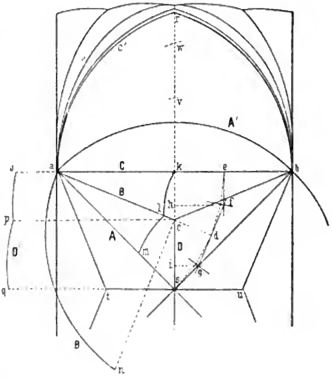
164. Grundgedanke. Zerlegt man die Gewölbkappen eines urſprünglich einfachen gotiſchen Kreuzgewölbes, welches nur mit Kreuz- und Randbogen, bezw. Rippen auftritt, weiter durch beſonders geordnete und ſelbſtändig gebildete Zwiſchenbogen, bezw. Zwiſchenrippen, ſo entſteht das mehrteilige gotiſche Kreuzgewölbe. Schon das in Art. 117 (S. 206) erwähnte ſog. ſechsteilige Kreuzgewölbe erſcheint als ein mehrteiliges Gewölbe. Die weitere Teilung der bei ſolchen Anlagen vorweg noch nicht durch eine Mittelrippe zerlegten beiden gröſseren Kappen führt beim Einfügen einer ſolchen Rippe zu einem achtteiligen Gewölbe. Die bei dieſen Gewölbarten eingeführten Zerlegungen der Kappen kommen verſchiedentlich bei Bauwerken des XII. und XIII. Jahrhunderts vor; ſie haben aber eine allgemeine Anwendung im Sinne eines eigentlichen Syſtems bei den Gewölben der gotiſchen Baukunſt nicht gefunden. Bei dieſen geht das Zerlegen der Kappen weſentlich durch Zwiſchenrippen vor, welche, von den ſtützenden Eckpunkten des Gewölbes aus geführt, eine Teilung der Kappen zwiſchen Rand- und Kreuzbogen in kleinere, weniger weit geſpannte Gewölbſtücke bewirken. Dieſe Zwiſchenrippen oder Nebenrippen (Liernen) ſind wiederum tragende Beſtandteile des Gewölbes. Auſserdem tritt zur weiteren Ausbildung des Rippenſyſtems häufig eine Verbindung des Scheitels der einzelnen, für ſich zuſammengeführten Zwiſchenrippen mit dem Scheitel der Hauptrippen (Kreuz-, bezw. Gurt- oder Schildbogenrippen) durch Scheitel- oder Firſtrippen ein. Dieſe bezwecken die weitere Verſpannung des Rippenwerkes unter ſich. Je ſorgfaltiger ein maſsvolles, geregeltes und von Willkür freies Einfügen von Rippenkörpern ſtattfindet, um ſo wohlthuender und gediegener wirkt die Anlage des mehrteiligen Kreuzgewölbes.

Durch derartige Geſtaltungen entſtehen die **Stern- und Netzgewölbe**, deren Körper oft ein ſehr reich entwickeltes Rippenwerk als Gliederung erhalten. Ihre Benennung iſt in Rückſicht auf das geometriſche Muſter entſtanden, welches durch das Zuſammenfügen des Rippenſyſtems entſpringt. Solange der Grundſatz befolgt wird, eine edle und ſchöne Formgeſtaltung dieſer Gewölbe mit den für dieſelben geltenden ſtatiſchen Geſetzen, welche vorſchreiben, daſs das geſamte Rippenſyſtem ſowohl in ſich ſelbſt ſchon mit ſeinen Stützpunkten, als auch mit den dazwiſchen liegenden Kappen in ſtabilem Gleichgewichtszuſtande befindlich ſein ſoll, in Einklang zu bringen, bleibt auch das eigentliche Weſen des gotiſchen Kreuzgewölbes, wonach jeder Bauteil desſelben den jedesmal vorgeſchriebenen Bedingungen ſtreng entſprechend auszubilden iſt, gewahrt. Starren Handwerksregeln darf hierbei ein gröſseres Gefolge nicht eingeräumt werden; vielmehr hat ein geregeltes künſtleriſches Schaffen ſtets die Oberhand zu behalten. Als eine Unterſtützung für eine in dieſem Sinne zu bewirkende Geſtaltung der mehrteiligen Kreuzgewölbe ſollen im folgenden einige Entwickelungen gegeben werden, welche für die Grund- und Aufriſsbildung derartiger Gewölbe Anhaltspunkte bieten können.

165. Einfaches Sterngewölbe: quadratiſcher Grundriſs.

Iſt die Grundriſsfigur des Gewölbfeldes ein Quadrat, ſo können alle Bogen der Gewölbrippen als Kreisbogen mit gleichem Halbmeſſer beſchrieben werden. Derjenige Bogen, deſſen Halbmeſſer als maſsgebend für alle übrigen Bogen angenommen wird, führt den Namen **Prinzipalbogen**. Meiſtens wird hierfür ein Bogen, welchem der gröſste Halbmeſſer zukommt, gewählt, wie auch ſonſt die Form dieſes Bogens, ob Halbkreis, ob Spitzbogen oder Flachbogen, beſchaffen ſein mag.

Fig. 227.



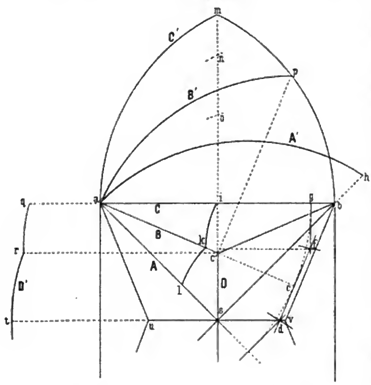
Bei dem quadratiſchen Gewölbfelde in Fig. 227 iſt die Hälfte A_1 des Diagonalbogens als Prinzipalbogen genommen. Derſelbe iſt hier ein Viertelkreis *ab* mit dem Halbmeſſer *sa*, alſo der ganze Kreuzbogen ein Halbkreis mit *s* als Mittelpunkt. Die geraden Linien *ac*, *at*, *bc*, *bu* u. ſ. f. ſind die wagrechten Projektionen der Zwiſchenrippen. Die Punkte *c* oder *t*, *u*, über welchen die Scheitel der einzeln unter ſich zuſammentretenden Zwiſchenrippen liegen, ſind hier als im Schnitt der Halbierungsſtrahlen *ac*, bezw. *bc* u. ſ. f. der Winkel *bas*, bezw. *abs* u. ſ. f. befindlich, angenommen, können aber auch als Schwerpunkte der Dreiecksflächen *asb* u. ſ. f., welche zwiſchen den Kreuz- und Randbogen im Grundriſs entſtehen, beſtimmt werden. Die Geraden *sc* oder *st*, *su* u. ſ. f. geben die Lage der Scheitelrippen an.

Beſchreibt man um *a* mit dem Halbmeſſer *as* des Prinzipalbogens A_1 einen Kreisbogen *se*, ſo erhält man im Schnitte *d* desſelben mit der verlängerten Geraden *ac* den Mittelpunkt für den Kreis-

bogen B_1 der Zwifchenrippe über B mit dem Halbmeffer $da = sa$ und in cn die Höhe des Scheitels der Rippen ac und bc über der wagrechten Kämpferebene, während im Schnitte e des Kreisbogens se mit der Seite ab des Quadrats der Mittelpunkt des Schenkels C_1 des Spitzbogens über ab gefunden wird. Für das Austragen der Scheitelrippe über cs hat man zu beachten, dafs vermöge des gemeinfchaftlichen, in der Kämpferebene liegenden Ausgangspunktes a die für A und B vorhandenen Kreisbogen A_1 und B_1, deren Mittelpunkte s und d gleichfalls der Kämpferebene angehören, die Kappenfläche über acs als reine Kugelfläche geftaltet werden kann. Der Mittelpunkt g diefer Kugelfläche ift der Schnitt der in s auf as und in d auf ad errichteten Lote. Der mit ga um g befchriebene gröfste Kreis fchneidet die Verlängerung der Grundrifsprojektion cs der Scheitelrippe im Punkte v. Der Fufspunkt i des von g auf sv gefällten Lotes gi wird der Mittelpunkt für den Kreisbogen D_1 der Scheitelrippe. Der zugehörige Halbmeffer ift gleich iv.

Die Scheitellinie op über kc ift ein Kreisbogen, welcher, um h mit dem Halbmeffer hw befchrieben, einer Kugelfläche zwifchen den Kreisbogen B_1 und C_1 zugewiefen wird. Der Mittelpunkt f diefer zweiten Kugelfläche ift der Schnitt der Lote in d zu ad und in e zu ab; ihr Halbmeffer ift fa, und ihr in der Kämpferebene vorhandener gröfster Kreis fchneidet die Verlängerung von kc in w. Sollte ftatt der einfachen Scheitellinie op eine Scheitelrippe eingefetzt werden, fo beftimmt der Bogen op die Geftaltung derfelben. Nach dem Austragen der einzelnen Rippenbogen ift der Aufrifs oder, wie in der Zeichnung gefchehen, der fenkrecht in der Richtung tu genommene Schnitt des Gewölbes ohne weiteres darzuftellen. Ein wagrecht gelegter Schnitt ergiebt z. B. Kreisbogen ml, befchrieben um g, und lk, befchrieben um f auf den zugehörigen Laibungsflächen der Kappen.

Fig. 228.



166. Rechteckiger Grundrifs.

Ift (Fig. 228) der Prinzipalbogen über as der Schenkel A_1 eines Spitzbogens mit dem Halbmeffer ga, fo bleibt der einzufchlagende Weg für das Austragen der fämtlichen Kreuz-, Zwifchen-, Stirn- und Scheitelrippen unter Anwendung diefes feften Halbmeffers, fowie für die Ausmittelung der Kugelflächen der Kappen derfelbe wie vorhin. Aus der Zeichnung ift das Nähere fofort erfichtlich.

Auch bei einem rechteckigen Gewölbfelde kann unter Beibehaltung desfelben Halbmeffers nach der gleichen Grundlage die Beftimmung der Form der Rippen und Kappen erfolgen.

Eine folche Darftellung giebt Fig. 229 mit dem Prinzipalbogen C über einer halben Diagonale rs, deffen Halbmeffer gleich der Länge der kleinen Seite ra des rechteckigen Gewölbfeldes genommen ift.

Zur weiteren Erklärung der Zeichnung diene, dafs die Mittelpunkte der Bogen A, B, C, D und E durch Schlagen eines Kreifes um r mit dem Halbmeffer ra in a, b, c, d, e gefunden find, dafs der Reihe nach 1, 2, 3, 4 die Mittelpunkte der Kugelflächen für die Kappenftücke 1_1, 2_1, 3_1, 4_1 mit den zugehörigen gröfsten Kreifen k_1, k_2, k_3, k_4 werden und dafs endlich auf Grund der Beftimmtheit diefer Kugelflächen die Mittelpunkte der Scheitelbogen F, G, H, J leicht in f_1, g_1, h_3, i_4 ermittelt werden können. Würde bei einer vorgefchriebenen Stärke der Kappe 1_1, welche durch den um 1 konzentrifch k_1 gefchlagenen Kreisbogen q angegeben ift, die Einwölbung nach konzentrifchen Ringfchichten vorgenommen, fo würde om die Grundrifsprojektion einer folchen Wölbfchicht bedingen. Der Aufrifs, fowie das nach der Richtung

tu gegebene Bild vom halben Gewölbe dienen zur Verdeutlichung der Gewölbgeſtaltung.

Der Umſtand, daſs bei der Anwendung eines und desſelben Halbmeſſers für ſämtliche Kreuz-, Rand- und Zwiſchenbogen die Scheitelhöhe und die Form der Randbogen der kleinen Seite eines rechteckigen Gewölbfeldes in Rückſicht auf den groſsen Randbogen oder in Bezug auf die Höhen und Formen der übrigen Bogen in der einen oder der anderen Weiſe nicht günſtig werden, giebt oft Veranlaſſung, die Geſtaltung ſolcher Gewölbe nach feſtem Halbmeſſer aufzugeben, vorausgeſetzt, daſs man zur Erzielung einer beſtimmten Höhe für die kleineren Randbogen nicht etwa die in Art. 160 (S. 268) erwähnten Knickbogen oder geſtelzte Bogen anwenden will. Aehnliche Verhältniſſe könnten ſich ſelbſt bei Zwiſchenrippen in der an der kleinen Rechteckſeite liegenden Hauptkappe geltend machen, ſo daſs auch für dieſe Rippen eine Abänderung des feſten Halbmeſſers rätlich ſein würde.

Fig. 229.

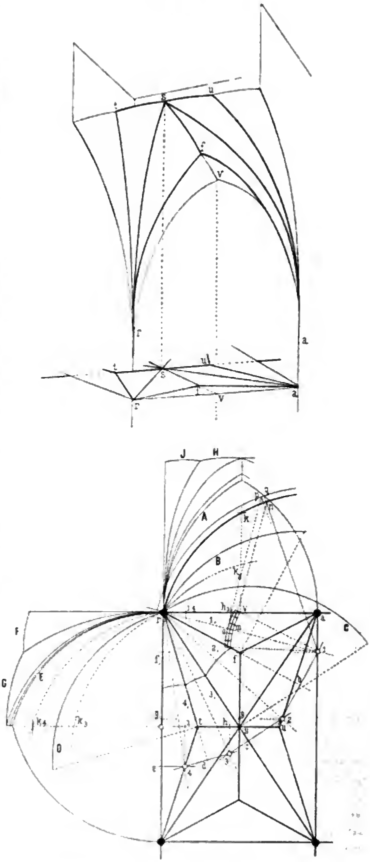
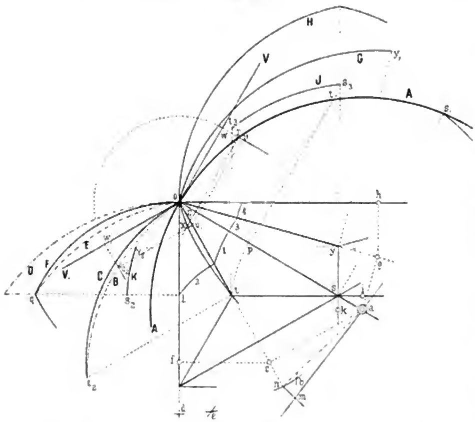


Fig. 230 ſoll hierüber Aufſchluſs geben. Der Prinzipalbogen *A* des hier verhältnismäſsig ſchmalen rechteckigen Gewölbfeldes gehört der Hälfte eines ſpitzbogigen Diagonalbogens an. Sein Mittelpunkt iſt *a*, alſo ſein Halbmeſſer gleich *a o*. Würde man dieſen Halbmeſſer in *d o* = *a o* für den Randbogen der kleinen Seite beibehalten, ſo entſtände hier ein reichlich ſteiler Spitzbogen mit Bogenſchenkeln *D*. Wollte man die Höhe dieſes Bogens verringern und etwa gleich *l q* nehmen, ſo iſt der mit dem Halbmeſſer

$d o = a o$ aus o und q beſtimmte Kreuzriſs e der Mittelpunkt des Knickbogens E. Zur Vermeidung dieſes Knickbogens, aber zur Erzielung lotrechter Anſätze ſämtlicher Bogen in ihren Anfängen und endlich zur Einführung von Scheitelhöhen für die Rand- und Zwiſchenbogen, welche unter ſich in geregelte Beziehung gebracht ſind, kann man ſich des Prinzipalbogens A, ohne gleiche Halbmeſſer für die Rippenbogen zu benutzen, in der folgenden Weiſe bedienen.

Sind die wagrechten Projektionen y und t der Scheitelpunkte der Zwiſchenbogen feſtgelegt, hier in y auf dem Halbierungsſtrahle des Winkels $h o s$, in t dagegen als Schwerpunkt der Dreiecksfläche zwiſchen der kleinen Rechteckſeite und den angrenzenden beiden Grundriſslinien der Kreuzbogen, ſo fälle man vom Mittelpunkte a des Prinzipalbogens A im Grundriſs das Lot $a g$ auf die Verlängerung von $o y$, ferner von g das Lot $g h$ auf die groſse Rechteckſeite; ebenſo das Lot $a c$ auf die Verlängerung von $o t$ und das Lot $c f$ auf die kleine Rechteckſeite. Betrachtet man die Fuſspunkte g, h, c, f dieſer Lote als Mittelpunkte der zugehörigen Bogen G, H, C, F, wofür die Halbmeſſer ſich ſofort als $g o$, $h o$, $c o$, $f o$ ergeben, ſo gelangt man zu Bogenformen, welche auch hinſichtlich ihrer Scheitelhöhen in den meiſten Fällen in einem ſchicklichen Verhältniſſe zu einander ſtehen.

Fig. 230.



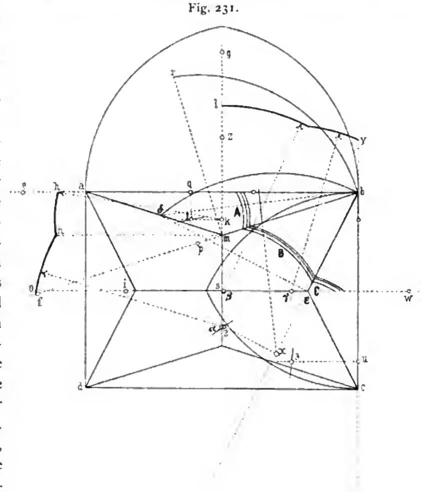
Sollen die Kappenflächen Teile von reinen Kugelflächen ſein, welche durch die ausgetragenen Bogen A, G, H, C, F beſtimmt werden, ſo iſt a der Mittelpunkt der Kappenflächen 1 und 3 mit dem Halbmeſſer $a o$ und dem gröſsten Kreiſe A. Hieraus folgt ohne weiteres, daſs die Kreuzrippe über $o s$ nur die Kugelfläche der Kappen 1 und 3 gliedert. Die Kappenfläche 4 gehört einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte g, dem Halbmeſſer $g o$ und dem gröſsten Kreiſe G an. Ebenſo entſpricht die Kappenfläche 2 einer beſonderen Kugelfläche mit dem Mittelpunkte c, dem Halbmeſſer $c o$ und dem gröſsten Kreiſe C. Zum Austragen der Scheitelrippe J über $t s$ dient die Kugelfläche um a. Das von a auf die Verlängerung von $t s$ gefällte Lot ergiebt i als Mittelpunkt des Bogens J. Der Halbmeſſer desſelben iſt gleich der Länge eines von i nach dem gröſsten Kreiſe A gezogenen Strahles. Da $s s_3$ auch gleich $s s_1$ ſein muſs, ſo iſt der Bogen J ausreichend beſtimmt. Beſchreibt man um a den Kreisbogen $t p$, ſo ſind, der Kugelfläche um a entſprechend, auch $t t_3 = p t_1 = t t_2$.

Für die Scheitellinie K über $s y$ iſt $s s_2 = s s_1$ und der Fuſspunkt k des von a auf $y k$ gefällten Lotes $a k$ der Mittelpunkt.

Hätte man unter der Annahme der Höhe $t\,t_3 = p\,t_1 = t\,t_2$ für den Zwifchenbogen über $o\,t$ einen Knickbogen mit dem Halbmeffer $a\,o$ des Prinzipalbogens fchlagen wollen, fo liefert der aus o und t_2 mit $a\,o = d\,o$ gezeichnete Kreuzrifspunkt b, welcher um eine Strecke gleich $m\,n$ unter der Kämpferebene liegen würde, den Mittelpunkt diefes Knickbogens B. Ein Vergleich desfelben mit dem vorhin ausgetragenen Bogen C giebt nur mäfsige Abweichungen an. Führt man durch die Gewölbkappe s einen wagrechten Schnitt w, bezw. w_1, fo ift der um a befchriebene Kreisbogen $r_1\,x$ die Grundrifsprojektion der Schnittlinie. Würde die Bedingung geftellt, dafs eine von o nach t_2 auffteigende Zwifchenrippe einer cylindrifchen Fläche mit einem Knickbogen B als Leitlinie angehören follte, welche für Punkte wie r und w_2 gleiche Höhenlage über der Kämpferebene erhielte, fo würde eine gewundene Zwifchenrippe entftehen, deren wagrechte Projektion als eine krumme Linie $o\,x\,t$ leicht beftimmt werden könnte. Derart gewundene Rippen kommen bei gotifchen Gewölben hier und dort wohl vor; fie find im allgemeinen aber unfchön und können nur in ganz befonderen Fällen eine gewiffe, meiftens jedoch nur geringe Berechtigung in Rückficht auf die ftatifchen Verhältniffe der beiden von folchen gewundenen Bogen getragenen Kappen haben.

Das in Fig 230 dargeftellte einfache Sterngewölbe kann hinfichtlich der Form feiner Zwifchen- und Randbogen durch das Verlegen der Punkte g, h, c, f die mannigfachfte Abänderung erfahren. Zweckmäfsig betrachtet man die nach den Austragungen der einzelnen Bogen gezeichneten Längen- und Querfchnitte des Gewölbes als vorläufige Skizzen, beffert in denfelben, falls noch Unfchönheiten in der Geftaltung erblickt werden, aus freier Hand die Bogen- und Kappenlinien in künftlerifcher Weife ein und fucht hiernach, gleichfam rückwärts gehend, in der Kämpferebene die Mittelpunkte derjenigen Kreisbogen auf, welche den entworfenen Bogen thunlichft nahe kommen und an deren Stelle zu treten haben. Auf diefem Wege ift die berechtigte Freiheit bei der Geftaltung folcher Gewölbe gewahrt.

Fig. 231.



167. Einfaches Netzgewölbe

Fehlen in einem mehrteiligen Kreuzgewölbe, wie bei der in Fig. 231 über einem rechteckigen Felde gegebenen Darftellung angenommen ift, die Diagonalbogen, fo ändert fich der Gang des Austragens der Rand-, Zwifchen- und Scheitelbogen nicht. Nach den gemachten Mitteilungen find, nachdem die Höhen der Scheitelpunkte der Randbogen und der Zwifchenbogen, wofur z. B. $m\,r = s\,\hat{z}$ genommen ift, feftgeftellt wurden, die einzelnen, aus der Zeichnung fofort zu erkennenden Ausmittelungen der Beftandteile vorzunehmen.

Bemerkt ſei nur, daſs *1* der Mittelpunkt der Kugelfläche *A* und *g* ein Punkt ihres gröſsten Kreiſes iſt, während *2* und *w*, *3* und *i* für die Kugelflächen *B*, bezw. *C* als Mittelpunkte und Punkte zugehöriger gröſster Kreiſe in Betracht kommen.

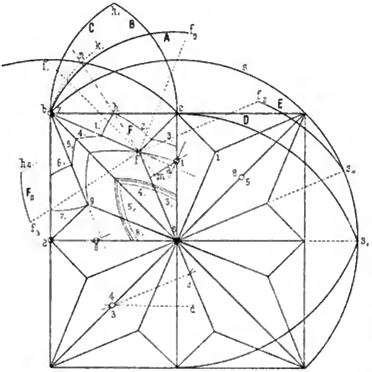
Die im Grundriſs gegebene Anordnung des Rippenſyſtems, wonach bei dem Fehlen der Kreuzrippen eine Abänderung des einfachen Sterngewölbes eintritt, zeigt die einfachſte Geſtaltung eines Netzgewölbes.

168. Mehrgliedriges Sterngewölbe.

Wird das Rippenſyſtem des einfachen Sterngewölbes durch Hinzunehmen einer gröſseren Zahl von Zwiſchen-, Scheitel- und Nebenrippen als ein erweiterter tragender Gerüſtkörper für die Kappenwölbung geſtaltet, und entſpricht dabei die Grundriſsbildung des Rippenwerkes der Form eines mehr- oder vielſtrahligen Sternes, ſo entſteht das mehrgliedrige Sterngewölbe. Dasſelbe wird oft Sterngewölbe ausſchlieſslich genannt.

Die Grundlage der Entwickelung dieſes Gewölbes bietet das einfache gotiſche Gewölbe mit ſeinen Diagonalbogen. Die weitere Teilung der Hauptkappen desſelben durch Vervielfältigung der Rippen bedingt die Bildung des oft mannigfaltig und reich geſtalteten Sterngewölbes. Hierdurch unterſcheidet ſich dasſelbe von dem ſpäter zu berückſichtigenden mehrfach gegliederten Netzgewölbe. Die Austragungen der Bogen für die Rippen des mehrgliedrigen Sterngewölbes können in derſelben Weiſe vorgenommen werden, wie beim einfachen Sterngewölbe gezeigt iſt.

Fig. 232.



Als Beiſpiel ſoll hier ein Sterngewölbe, deſſen Grundlage ein achtteiliges Kreuzgewölbe bildet, in Fig. 232 dienen. Der Grundriſs iſt ein Quadrat, deſſen Seiten acht Stützpunkte des Gewölbes enthalten, ſo daſs an jeder Seite des Quadrats zwei Randbogen entſtehen. Die Diagonalbogen mögen Halbkreiſe ſein.

Hierdurch iſt die Scheitelhöhe des ganzen Gewölbes gleich dem Halbmeſſer *s b* beſtimmt. Die parallel zu den Seiten durch die Stützen *c* und *2* geführten Teilrippen gehen durch den Gewölbſcheitel, haben alſo eine Höhe $s s_1 = s b$. Ihre Bogenlinie iſt ein Spitzbogen, wofür die Mittelpunkte, wie *d* für *D*, auf bekanntem Wege gefunden werden können. Die Randbogen ſind Spitzbogen mit den Schenkeln *B* und *C*, beſchrieben aus *b* und *c*. Zwiſchenrippen wie *b f*, *c f* u. ſ. f. halbieren in ihrer Grundriſslage die Winkel $c b s_1$, $b c s$ u. ſ. f., ſo daſs nach dem Feſtlegen der Schnittpunkte *f*, bezw. *g*, die Lage der Scheitelrippen *f s*, *g s* u. ſ. f. im Grundriſs vorgeſchrieben wird.

Wird hiernach die geometriſche Grundriſsfigur des Rippenwerkes des ganzen Gewölbes vervollſtändigt, ſo entſteht die Form eines achtſtrahligen Sternes. Setzt man die Höhe $f f_1$ der Zwiſchenbogen über *b f*, bezw. *2 g* u. ſ. f. gröſser als die Höhe $h h_1$ der Randbogen und kleiner als die Scheitelhöhe des geſamten Gewölbes z. B. in der Weiſe feſt, daſs der Punkt *2* Mittelpunkt für den Bogen $c f_1$ wird, ſo läſst ſich hiernach auch der Bogen *A* über *b f* mit der Höhe $f f_0 = f f_1$ nebſt ſeinem Mittelpunkte *a* darſtellen.

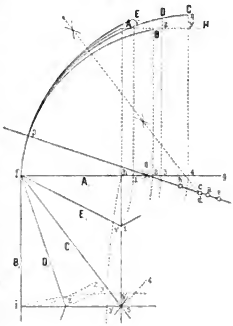
Nach diefen Beftimmungen find alle übrigen noch erforderlichen Austragungen leicht zu bewirken. Setzt man wiederum voraus, dafs die Laibungsflächen aller Kappen gefetzmäfsig entftehenden Kugelflächen zwifchen ihren zugehörigen Rippen angehören follen, fo wird der Schnitt 1 des Lotes $c\,1$ auf bc und des Lotes $a\,1$ auf ba der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe 1_1 mit dem um 1 befchriebenen gröfsten Kreife k_1, deffen Halbmeffer gleich $1\,b$ ift. Die Scheitellinie F_0 über F wird der Kreisbogen $h_2 f_2$ mit dem Mittelpunkte m, alfo dem Fufspunkte des von 1 auf hf gefällten Lotes und dem Halbmeffer mn, welcher in der Richtung fh von m bis n auf dem gröfsten Kreife k_1 geführt wird. Der Bogen E der Scheitelrippe über fs ergiebt fich aus der Beftimmung der Kugelfläche der Kappe 3_1. Errichtet man im Mittelpunkte 2 des Bogens cf_1 über cf das Lot auf $c\,2$ und ebenfo im Mittelpunkte d des Bogens D über cs das Lot auf cd, fo ift der Schnittpunkt 3 diefer Lote der Mittelpunkt der Kugelfläche diefer Kappe. Ihr gröfster Kreis würde den Halbmeffer $3\,c$ befitzen. Fällt man von 3 das Lot $3\,e$ auf die Verlängerung von fs, fo ift e der Mittelpunkt des Kreisbogens E der Scheitelrippe über fs. Da ff_2 gleich ff_1, aufserdem auch $ss_{,,}$ gleich sb fein mufs, fo ift der Bogen E überreichlich beftimmt. Sein Halbmeffer ift ef_2, bezw. $cs_{,,}$. Nach gleichen Mafsnahmen find die Punkte 4, 5, 6, 7, 8 als Mittelpunkte der Kugelflächen der Kappen 4_1, 5_1 bis 8_1 aufgefucht. Wagrechte Ebenen rufen Schnittlinien auf diefen Kappenflächen hervor, welche, den Mittelpunkten entfprechend bezeichnet, im Grundrifs näher angedeutet find.

Nach diefen Angaben können die Austragungen der Beftandteile eines Sterngewölbes, welches in anderer und in fonft beliebiger Weife angeordnet ift, befondere Schwierigkeiten nicht bereiten. Auch hier möge, wie in Art. 158 (S. 264), darauf hingewiefen werden, dafs, falls die einzelnen Kappen eine andere Bufung erhalten follen, als die nach einer Kugelfläche gebildete Wölbung ergiebt, leicht auf Grund der ermittelten Kugelflächen eine Umwandelung derfelben in befondere fphäroidifche Flächen vorgenommen werden kann. Hierauf wird fpäter Rückficht genommen werden.

169.
Korbbogen
als
Rippenbogen

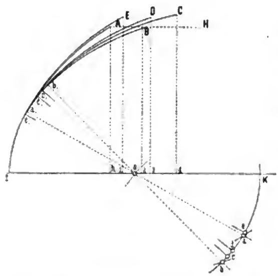
Statt der einfachen Kreisbogen können für die Bogenlinien der Rippen eines Sterngewölbes auch Korbbogen benutzt werden. Solches ift der Fall, wenn die einzelnen Rippenbogen eine genau vorgefchriebene Höhe erhalten und in ihren Anfängen ftets gleichen Halbmeffer befitzen follen. Diefe Bogenformen haben namentlich in der englifchen Gotik Verwendung gefunden. Meiftens ift den fämtlichen Bogen gleiche Scheitelhöhe über der Kämpferebene gegeben. Das Austragen derfelben ändert fich im Wefen aber auch nicht, wenn den Kreuz- und Zwifchenbogen in Bezug auf die Randbogen verfchiedene Scheitelhöhen zugewiefen werden follen. In Rückficht hierauf ift in Fig. 233 für die Randbogen A und B eine gleiche Höhe feftgefetzt, während der Zwifchenbogen E diefe Höhe um das Mafs v, der Bogen D um die Strecke z und der Hauptbogen C um die Länge y überfchreitet. Die Höhenunterfchiede v, z, y find durch die im Grundrifs eingetragenen, mäfsig gekrümmten Hilfslinien hy und iy gewonnen. Sämtliche Bogen find in ihren Anfängen fp mit einem gleichen Halbmeffer po um den auf der wagrechten, durch den Kämpferpunkt p gehenden Linie fg beliebig genommenen Punkt o als Mittelpunkt befchrieben. Auf dem durch o und p geführten Strahle pL follen die Mittelpunkte der übrigen Bogen liegen.

Fig. 233.



Um den oberen Teil vom Hauptbogen C zu erhalten, ift $f\,4 = f\,5$ auf fg abgetragen, in 4 das Lot $4\,q$ gleich der Höhe diefes Bogens auf fg errichtet und mit Hilfe von Kreuzriffen aus p und q der Strahl beftimmt, welcher in feinem Schnitte c mit pL den Mittelpunkt des Bogenftückes pC als Fortfetzung des Anfatzftückes fp ergiebt. Der Bogen fpq ift der gefuchte Korbbogen der Hauptrippe. In gleicher Weife

Fig. 234.



werden die Mittelpunkte *a* für *A*, *b* für *B* u. f. f. ermittelt.

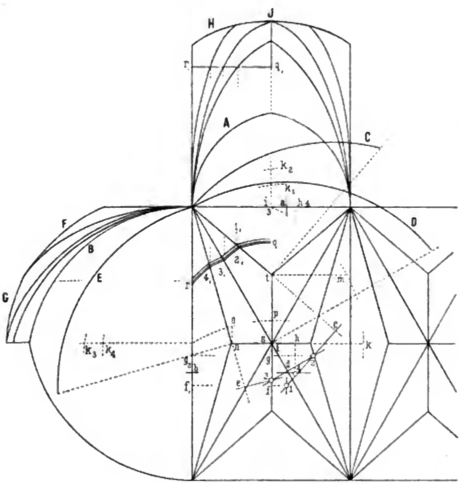
Bei diefer Bildung der Korbbogen find im allgemeinen die oberen Bogenftücke mit verfchiedenen Halbmeffern verfehen, während alle Anfätze neben gleichen Halbmeffern auch gleiche Bogenlängen aufweifen.

Läfst man für die Bogenanfätze gleiche Halbmeffer und ebenfo für die oberen Stücke der Bogen wiederum gleiche, aber den Scheitelhöhen entfprechende gröfsere Halbmeffer einführen, fo kann nach Fig. 234 das folgende Verfahren zum Austragen der Bogen benutzt werden.

Unter Annahme der Höhen der einzelnen Rippen ift zunächft *o* als Mittelpunkt für die Anfätze aller Bogen auf der wagrechten Linie *f K* gewählt. Um *o* ift ferner mit beliebig grofsem Halbmeffer, welcher in der Regel gleich *o f* genommen wird, ein Kreisbogen *K* unterhalb *f K* gefchlagen. Behält man die Länge *f K* als Halbmeffer der oberen Stücke der Rippenbogen bei, fo liegen die Mittelpunkte derfelben auf diefem Kreisbogen *K*.

Schnitte *a*, *b* u. f. f. der aus den Scheitelpunkten *A*, *B* u. f. f. von um *A*, *B* u. f. f. mit dem Halbmeffer *f K* befchriebenen Kreisbogen auf der Kreislinie *K* werden die Mittelpunkte der zugehörigen Korbbogenftücke, deren Scheideftrahlen, durch *a o*, *b o* u. f. f. geführt, die Vereinigungspunkte a_1, b_1 u. f. f. zwifchen Anfatz- und Oberbogen der Rippen ergeben. Erftere erhalten hierbei verfchieden grofse Bogenlängen.

Fig. 235.

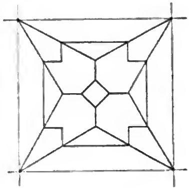


Mehrftrahlige Sterngewölbe über unregelmäfsigem Grundrifs werden nach denfelben, für regelmäfsige Gewölbe gegebenen Grundlagen behandelt. Im übrigen ift dabei das in Art. 168 (S. 277) Gefagte zu beachten. Werden mehrere nebeneinander liegende gleiche Gewölbjoche (Fig. 235) mit Sterngewölben verfehen,

fo erfolgt die Geftaltung derfelben in der genügend erörterten, in der Zeichnung näher erkennbaren Weife.

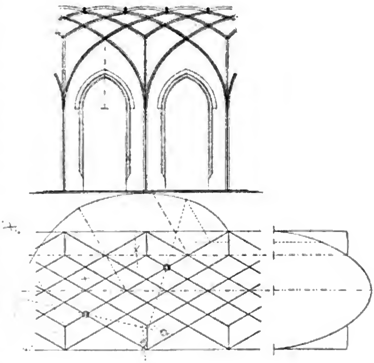
170 Mehrgliedriges Netzgewölbe. Wird ein einfaches Netzgewölbe (fiehe Art. 167, S. 276) durch eine Schar von Rippengebilden vermehrt, welche in ihrer Zufammenfügung eine netzartige Verbindung ergeben, fo entfteht das Tragfyftem für ein mehrgliedriges Netzgewölbe. Die felbftändig in die Felder des Rippenfyftems eingefügten und von demfelben geftützten Kappen find das Füllwerk des Gewölbes. Bei diefen Gewölben, welche zur Ueberdeckung langgeftreckter Räume dienen können, fehlen die Kreuzrippen und meiftens auch die Gurtrippen, fo dafs die Einteilung des zu überwölbenden Raumes in Joche häufig fortfällt. Die Widerlager diefer Gewölbe find bei kleineren Gewölbfeldern einzelne Pfeiler, bei längeren ebenfalls Pfeiler oder befonders an den langen Umfangswänden angebrachte Stützkörper. Im letzteren Falle entfpricht der Querfchnitt diefer Gewölbe häufig der Form eines Tonnengewölbes mit Stichkappen. Sie unterfcheiden fich aber in bemerkbarer Weife von folchen Tonnengewölben durch die felbftändige Rippenbildung, durch die befondere Wölbung der Kappen, welche in ihrer Laibung mit Bufung verfehen, einer Tonnengewölbfläche nicht angehören und durch ihre eigenartige Geftaltung, welche nicht von der Querfchnittsform des Gewölbes, fondern von der Form eines beftimmt angenommenen Rippenbogens abhängig gemacht wird.

Fig. 236.



Die Rippen folcher reich gegliederter Netzgewölbe werden in ihrer Gefamtheit Reihungen genannt, eine Bezeichnung, welche auch wohl bei vielftrahligen Sterngewölben eintritt. Doch laffen fich bei diefen Reihungen wiederum Hauptrippen, Zwifchen-, Neben- und Scheitelrippen u. f. w. unterfcheiden. Die Kappenfelder heifsen Mafchen, wenn ihre Grundrifsprojektion rautenförmig erfcheint.

Fig. 237.



Das Austragen der bei diefen Gewölben in Frage kommenden Bogenlinien kann z. B. bei dem in Fig. 236 im Grundrifs dargeftellten Netzgewölbe ganz in dem in Art. 168 (S. 277) angegebenen Sinne erfolgen. Bei einem langgeftreckten Gewölbfelde, wie in Fig. 237, wird eine längfte, von Umfangswand zu Umfangswand fchräg ziehende Rippe als Prinzipalbogen angenommen. Die Form diefes grundlegenden Bogens kann ein Halbkreis, ein Spitzbogen, ein Korbbogen u. f. f. fein. Diefe Bogenform dient als Leitlinie für die Erzeugung der Bogenlinien aller übrigen Rippen. Mit

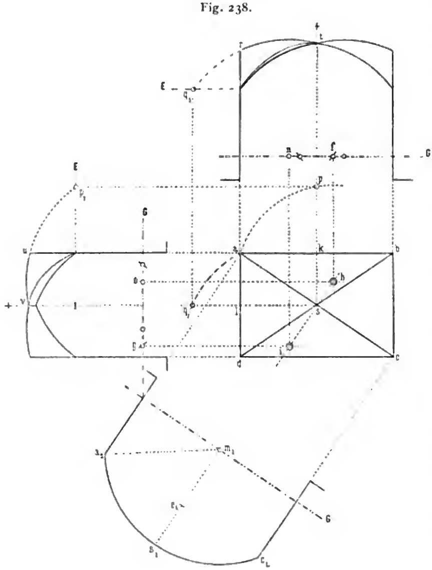
Hilfe gerader wagrechter Linien, welche parallel mit der wagrechten Scheitellinie des Gewölbes am Prinzipalbogen fortgeführt werden können, laſſen ſich in bekannter Weiſe und wie dies aus der Zeichnung ohne weiteres erſichtlich iſt, die nötigen Ausmittelungen ſchaffen.

Wie nun auch die Grundriſsbildung der Reihungen auftreten ſoll, immer iſt dahin zu ſehen, daſs keine Anordnung getroffen wird, welche die Standfähigkeit des meiſtens in labilem Gleichgewichtszuſtande befindlichen Rippenkörpers an ſich ſchon ſtark beeinträchtigen könnte. Eine Verſpannung der Reihungen durch die eingefügten Kappen wird vermöge der ihnen zu erteilenden Buſung allerdings in gewiſſem Grade bewirkt.

3) Gotiſche Kreuzkappengewölbe.

Liegen die Scheitel der Kreuz- und Randbogen bei einem einfachen gotiſchen Kreuzgewölbe im Vergleich mit ihren Spannweiten in geringer Höhe über der wagrechten Kämpferebene, ſo entſteht das Kreuzkappengewölbe oder das flache Kreuzgewölbe. Kreuz- und Randbogen können als flache Kreisbogen oder als flache Spitzbogen (Knickbogen) ausgebildet werden. Die Kappen, welche auch bei dieſen Gewölben Füllungen zwiſchen den tragenden Rippenkörpern ſind, können in ihren Laibungen Kugelflächen oder ſphäroidiſchen Flächen, ſeltener cylindriſchen Flächen angehören. 171. Geſtaltung.

Fig. 238.



Für die Geſtaltung dieſer Gewölbe können die bei der Bildung des einfachen gotiſchen Kreuzgewölbes gegebenen Geſetze gleichfalls befolgt werden.

Für das rechteckige Gewölbfeld *a b c d* (Fig. 238) möge die Bogenlinie der Kreuzrippe *a c* ein flacher Kreisbogen mit dem Mittelpunkt m_1, dem Halbmeſſer $m_1 a_1$ und der Pfeilhöhe $e_1 s_1$ ſein. Die durch m_1 parallel zur Kämpferebene gelegte Mittelpunktsebene *G* heiſse die Grundebene. Die Randbogen über *a b* und *a d* mögen flache Spitzbogen ſein, welche, hier z. B. mit demſelben

Halbmeffer $m_1 a_1$ des Kreuzbogens befchrieben, ihre Mittelpunkte wie *f*, *g* in der Grundebene *G* befitzen follen.

Hierdurch find bereits die fämtlichen Bogen des Rippenwerkes beftimmt. Sollen die Kappen nach reinen Kugelflächen gewölbt werden, fo find die Mittelpunkte derfelben in der Grundebene aufzufuchen. Für die Kappe *a s k* wird offenbar nach den früher gemachten Mitteilungen der Punkt *h*, für die Kappe *a s l* dagegen der Punkt *i* der zugehörige Mittelpunkt. Ein mit dem Halbmeffer *h a* um *h* befchriebener Kreisbogen *a p* gehört einem in der Kämpferebene *E* gelegenen Parallelkreife der Kugelfläche der Kappe *a s k* an, während der mit dem Halbmeffer *i a* um *i* befchriebene Kreisbogen *a q* einem Parallelkreife der Kugelfläche der Kappe *a s l* zukommt. Um die Scheitellinie über *l s* zu erhalten, ift der Punkt *i* nach *n* auf *G* und der Punkt *q* nach q_1 auf *E* zu projizieren und fodann um *n* mit dem Halbmeffer $n q_1$ der Kreisbogen $q_1 t$ zu fchlagen. Das Stück *r t* desfelben ift die Scheitellinie über *l s*. In ähnlicher Weife wird *u v* als Scheitellinie über *k s* mit Benutzung der Projektionen *h*, *o* und p_1, *p* gefunden.

Hiernach ift die Ausmittelung der Hauptbeftandteile eines flachen Kreuzgewölbes, folange die Mittelpunkte der Rand- und Kreuzbogen in einer und derfelben Grundebene liegen, äufserft einfach, auch felbft dann noch, wenn diefe Bogen mit ungleich grofsen Halbmeffern befchrieben find. Liegen die Mittelpunkte der Bogen nicht in einer und derfelben Grundebene, fo hat das Austragen der Bogen felbft an fich keine Schwierigkeit; nur find dann die Laibungen der mit Bufung zu verfehenden Kappen nicht mehr reine Kugelflächen. Die Scheitellinien derfelben find vielmehr nach der befonderen Geftaltung der fphäroidifchen Flächen zu beftimmen.

Das Rippen- und Kappengebilde für ein flaches Sterngewölbe würde man gleichfalls nach den angegebenen Grundlagen fchaffen können.

Da die flachen Kreuz-, bezw. Sterngewölbe eine geringe Konftruktionshöhe erfordern, fo ift ihre Verwendung im Bauwefen in manchen Fällen vorteilhaft. Sie liefern eine anfprechende Deckenbildung, welche einer mehr oder weniger reichen Ausftattung fähig ift.

4) Steigende gotifche Kreuzgewölbe.

172. Geftaltung.

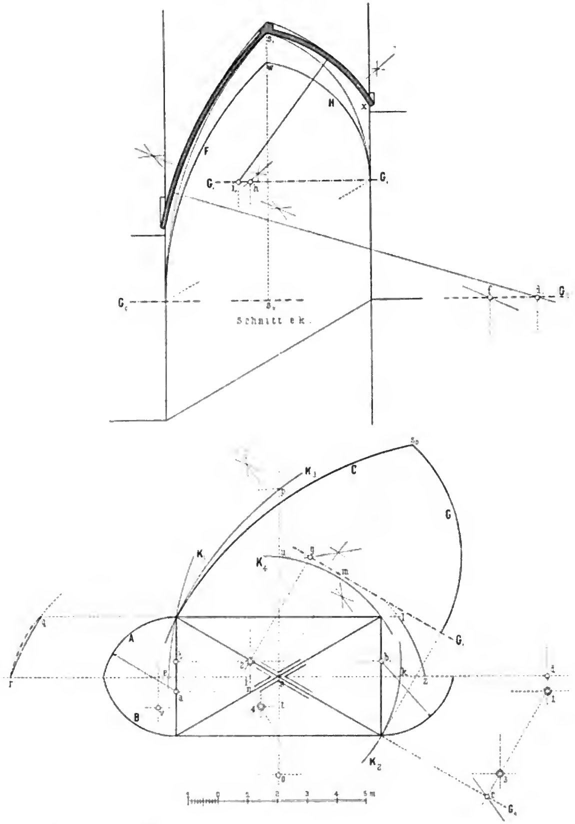
Die Kämpferebene eines fteigenden Kreuzgewölbes ift eine geneigte Ebene. Hierdurch wird eine verfchiedene Höhenlage der Stützpunkte der Kreuz- und Randbogen bedingt und damit im Zufammenhange ftehend die Form diefer Bogen beeinflufst.

Die Kreuzbogen beftehen bei fpitzbogigen Wölblinien im allgemeinen aus zwei mit verfchiedenen Halbmeffern befchriebenen Kreisbogen, deren Mittelpunkte in zwei übereinander liegenden wagrechten Grundebenen anzunehmen find. Der Abftand diefer Grundebenen entfpricht bei Spitzbogen, deren Tangenten an den Kämpferpunkten lotrecht find, ftets der Höhe der geneigten Kämpferebene. Diefer Abftand wird auch paffend für Knickbogen beibehalten. Die Randbogen über der anfteigenden Seitenlinie diefer Ebene find gleichfalls bei Spitzbogenform aus Kreisbogenftücken zufammengefetzt, welche wiederum mit verfchieden grofsen Halbmeffern gefchlagen werden. Die Mittelpunkte derfelben liegen je für fich getrennt in den beiden bezeichneten Grundebenen.

Die Randbogen über der unteren und oberen wagrechten Seitenlinie der Kämpferebene find dagegen in gewöhnlicher Weife als Spitzbogen mit gleichen Halbmeffern zu fchlagen. Die Mittelpunkte ihrer Schenkel liegen in der unteren, bezw. oberen Grundebene.

Das Austragen der Bogen und der von ihnen begrenzten Kappenftücke kann nach denfelben Grundlagen erfolgen, welche beim einfachen gotifchen Kreuzgewölbe gegeben find.

Fig. 239.



In Fig. 239 find diefe Austragungen für ein fteigendes Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbfelde vorgenommen.

In der Darftellung des Schnittes *e k* find G_0 und G_1 die Spuren der bezeichneten beiden Grundebenen. In der Grundrifsebene ift der Kreuzbogen mit den Schenkeln *C*, *G* niedergelegt. Die parallelen Geraden G_{11} und G_1 beftimmen hier die Lage der Spuren jener beiden Grundebenen. Die Höhe des

Gewölbes fei vorgefchrieben und als $s s_0 = s_{,,} s_,$ aufgetragen. Hiernach ergiebt fich bei lotrechten Tangenten in den Fufspunkten fämtlicher Kreuz- und Randbogen fofort in c auf $G_{,,}$ der Mittelpunkt des Schenkels C, in g auf $G_,$ der Mittelpunkt des Schenkels G des Kreuzbogens, während f auf G_0 und h auf $G_,$ in der Aufrifsprojektion die Mittelpunkte der Schenkel F und H des grofsen Randbogens mit der angenommenen Höhe $s_{,,} w$ werden. Die Mittelpunkte a, b, bezw. b_1 der Randbogen für die beiden fchmalen, oberen und unteren Seiten können je nach der zu wählenden Form des Spitzbogens ohne weiteres angenommen werden.

Die Kappenflächen können wiederum als Kugelflächen behandelt werden. Die Kugelfläche zwifchen dem Schenkel A des Randbogens der unteren fchmalen Rechtecksfeite und dem Schenkel C des Kreuzbogens erhebt fich über der Grundebene $G_{,,}$. Der Mittelpunkt 1 derfelben ift der Schnitt der in c auf $G_{,,}$ und in a auf ab errichteten Lote. $K_1 e$ ift ein Stück ihres gröfsten Kreifes, und folglich wird d der Mittelpunkt der Scheitellinie über es in der lotrechten Ebene ed. Dem Punkte d entfpricht der Punkt d_1 im Schnitte ek. Ein um d_1 mit dem Halbmeffer de, welcher auch gleich $d_1 s_1$ fein mufs, befchriebener Kreisbogen liefert die Scheitellinie. Für die Kugel- oder Kappenfläche zwifchen dem um b_1 gefchlagenen Schenkel des oberen Randbogens und dem antretenden Schenkel G des Kreuzbogens wird der Schnitt 2 des Lotes von g auf $G_,$ mit dem in b_1 auf der zugehörigen Seitenlinie des Gewölbfeldes errichteten Lote der Mittelpunkt. Diefe Kugelfläche erhebt fich über der Grundebene $G_,$. $K_2 k$ ift ein Teil ihres gröfsten Kreifes. Der Mittelpunkt der Scheitellinie über ke ift der Fufspunkt i des Lotes $2i$ auf ek; ihr Halbmeffer ift gleich ik.

Hiernach ift der im Schnitte ek um i_1, der Aufrifsprojektion von i, mit ik befchriebene Kreisbogen $x s_1$ die gefuchte Scheitellinie.

In gleicher Weife wird, wie aus der Zeichnung zu erfehen, 3 der Mittelpunkt der Kugelfläche zwifchen dem Schenkel F des Randbogens der auffteigenden Seitenlinie des Gewölbfeldes und dem Schenkel C des Kreuzbogens. Die Kugelfläche fteht auf der Grundebene $G_{,,}$. K_3 ift ein Teil ihres gröfsten Kreifes, daher der um o mit dem Halbmeffer op befchriebene, hier ftark gezeichnete Kreisbogen qr die Scheitellinie der zugehörigen Kappenfläche. Diefe Kappenfläche ift aber mit der Kappenfläche zwifchen dem zweiten Schenkel H des grofsen Randbogens und dem zweiten Schenkel G des Kreuzbogens an der gemeinfchaftlichen Scheitellinie zu vereinigen. Die Kappen- oder Kugelfläche, begrenzt von H und G, erhebt fich aber nicht über der Grundebene $G_{,,}$, fondern über $G_,$. Infolge hiervon kann die vorhin gefundene Scheitellinie qr nicht ohne weiteres auch derjenigen der Kugelfläche für H und G entfprechen. Beftimmt man zunächft wiederum den Mittelpunkt 4 diefer neuen Kugelfläche als Schnitt des Lotes von n auf sn, wobei offenbar sn gleich mg oder gleich $s2$ ift, und des Lotes von h auf $G_, G_,$ (Schnitt ek), fo wird K_4 als Teil des zugehörigen gröfsten Kreifes erhalten.

Hiernach wird t als Mittelpunkt und tu als Halbmeffer der neuen Scheitellinie lz beftimmt. Diefe Scheitellinie ift mit Hilfe des Punktes v, welcher dem Mittelpunkte t auf der Grundebene $G_,$ entfpricht, als punktierte Linie qr neben der früheren Scheitellinie gezeichnet. Hierdurch erkennt man die Abweichung derfelben zwifchen den fonft immer gemeinfchaftlich bleibenden Endpunkten p und q. Diefelbe ift aber meiftens fehr geringfügig, fo dafs bei der Einwölbung der Kappen, unter Beibehaltung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten 3 und 4, in der Nähe der zu fchaffenden gemeinfchaftlichen Scheitellinie äufserft leicht ein Ausgleichen jener Abweichung getroffen werden kann.

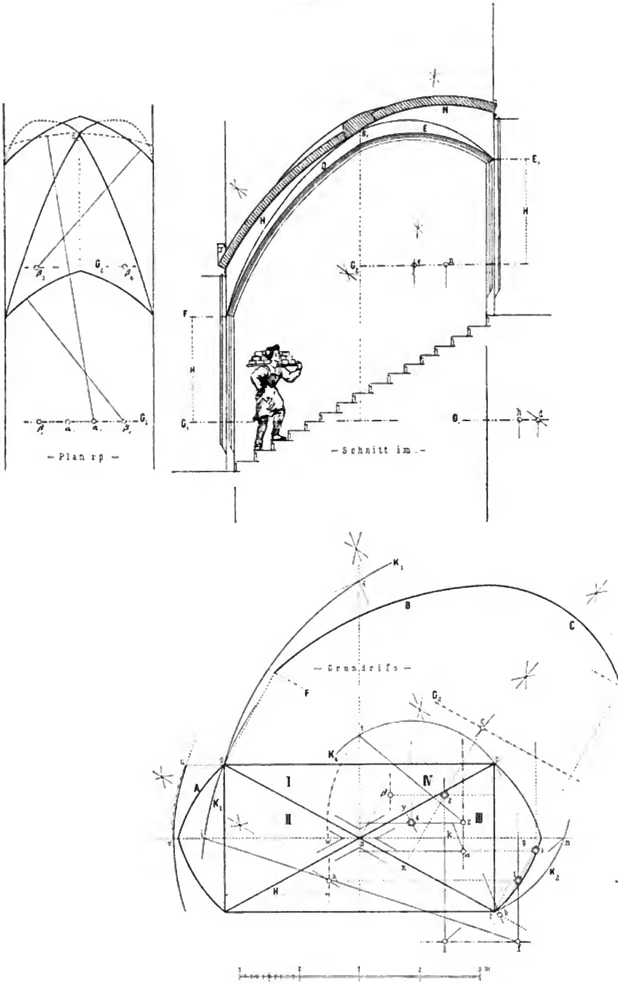
Werden die Rand- und Kreuzbogen eines fteigenden Kreuzgewölbes als Knickbogen mit gröfserer oder geringerer Pfeilhöhe geformt, fo wird auch hierdurch das Wefen der Geftaltung des alsdann mehr oder weniger fich über der geneigten Kämpferebene erhebenden Gewölbes nicht geändert.

Fig. 240 giebt fofort den nötigen Auffchlufs.

Sind die Grundebenen G_1 und G_2 feftgelegt, find die Bogenlinien B, C für die Kreuzbogen, D, E für die grofsen Randbogen und A für die kleinen Randbogen unter Berückfichtigung der Lage ihrer Mittelpunkte in der ihnen zukommenden Grundebene befchrieben, fo laffen fich alle nötigen Ausmittelungen unter Benutzung der foeben und ferner in Art. 171 (S. 281) beim flachen Kreuzgewölbe gegebenen Erörterungen für das ganze Gewölbe bewirken.

Ein genaues Verfolgen der in der Zeichnung noch näher zu erfehenden Ausmittelungen, welche die Geftaltung des behandelten Gewölbes deutlich erkennen laffen, führt ohne Schwierigkeit zum Ziele.

Fig. 240.

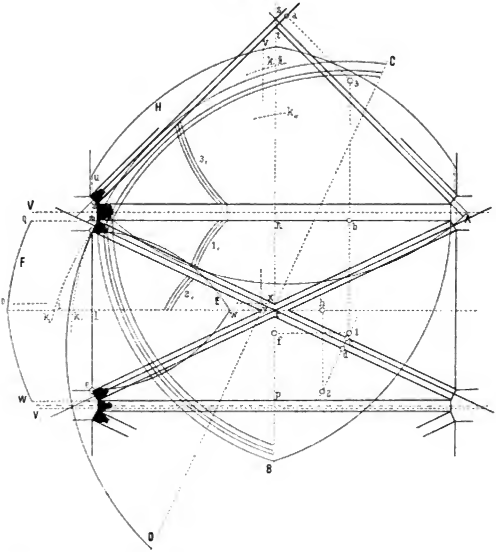


5) Widerlager der gotifchen Kreuzgewölbe.

173. Allgemeines. Das Uebertragen des Gewölbfchubes und der vom Eigengewicht nebft einer gröfseren oder geringeren fremden Belaftung herrührenden Gefamtlaft auf einzelne Stützen, welche bei den gotifchen Kreuzgewölben als Widerlager vorwiegend in Betracht kommen, bedingt eine befondere Geftaltung der Widerlagskörper.

Für diefe Geftaltung ift der Grundrifs der Gewölbanfänge von gröfster Bedeutung. Beim Zufammentreten der Kreuz-, Rand- oder Zwifchenbogen, bezw. ihrer

Fig. 241.



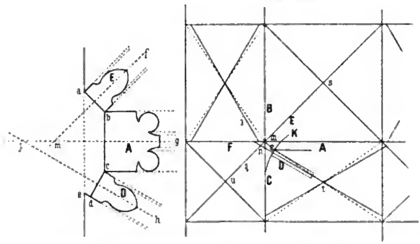
Rippenkörper mufs thunlichft ein regelmäfsiges Auseinanderwachfen derfelben oberhalb des Gewölbfufses angeftrebt werden. Der Gewölbfufs felbft foll, ohne eine übermäfsig grofse Fläche einzunehmen, einen Querfchnitt des Widerlagskörpers nach Form und Gröfse entftehen laffen, welcher unter Berückfichtigung der famtlichen auf die Stütze gelangenden Kräfte der ficheren Standfähigkeit des Gewölbfyftems entfpricht.

Bei aneinander gereihten Gewölben (Fig. 241) ift zu bemerken, dafs im allgemeinen die zufammentretenden Rippen *A*, *B*, *C*, *D* nicht immer einen und denfelben Querfchnitt befitzen, dafs häufig ihre Bogenlinien nicht mit gleichem Halbmeffer gefchlagen find, und dafs die wagrechten Projektionen ihrer Mittellinien

recht oft beim Zufammentreten von verfchiedenartig im Grundrifs angeordneten Gewölbfeldern ungleich grofse Winkel zwifchen fich einfchliefsen oder fich auch nicht einmal in einem gemeinfchaftlichen Punkte der Kämpferebene treffen. Alle diefe Umftände beeinfluffen die Entwickelung des Querfchnittes der Widerlagskörper in merkbarem Grade, auch felbft dann, wenn, wie aus der Zeichnung fofort entnommen werden kann, die Geftaltung der Laibungen der Wölbkappen als Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, bezw. *3* und den gröfsten Kreifen $k_{,}$, $k_{,,}$ u. f. f. nach dem in Art. 118 (S. 208) Gefagten bewirkt wird.

Zur Erklärung des Ganges, welcher für die Bildung des Querfchnittes eines Gewölbpfeilers eingefchlagen werden kann, foll nach Fig. 242 ein Zwifchenpfeiler *m* befprochen werden, welcher als Stütze für acht Rippenkörper von vier zufammengelegten Gewölben mit teils quadratifchem, teils rechteckigem Grundriffe dient. 174. Querfchnittsbildung für einen Gewölbpfeiler.

Fig. 242.

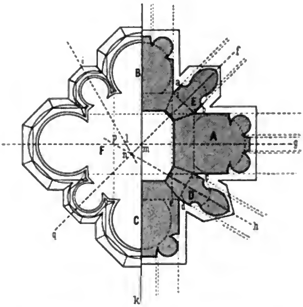


Behält man entfprechend der Lage und der Anordnung der Gewölbfelder die Diagonalen derfelben als Grundrifsprojektion der Mittellinien der Kreuzbogen bei, fo fchneiden fich diefe im gemeinfchaftlichen Eckpunkte *m* der Gewölbfelder, welcher zugleich der lotrechten Achfe des Zwifchenpfeilers angehört. Ordnet man nach diefen Mittellinien, unter Hinzunahme der Mittellinien der Gurtrippen *A*, *B*, *F* und *C*, durch Einführen der Querprofile *A* der Gurtrippe und *D*, *E* der Kreuzrippen, welche hier kleiner als *A* genommen find, den Grundrifs des für diefe Rippen erforderlichen Gewölbfufses, fo ergiebt fich meiftens für die Rippe *D* ein unfchönes Einfchneiden bei *a f* am Rippenkörper *A*. Sollte zur Vermeidung diefes Einfchneidens der Punkt *a* nach *f* verlegt werden, fo würde der grofse Uebelftand des weiteren Vorrückens des Punktes *d* von der Seitenlinie des Gurtbogens *C* fich geltend machen, fo dafs auch hierbei ein gut gegliedertes Abzweigen der Rippe *C* von der Rippe *A* nicht entftände. Durch eine Aenderung der Lage der Mittellinie *m t* der Rippe *C* kann jedoch eine beffere Abzweigung derfelben erzielt werden. Zur Beftimmung diefer neuen Lage der Mittellinie der Rippe *C* kann man in der folgenden Weife verfahren. Befchreibt man um die als nicht veränderlich geltende wagrechte Projektion *t* des Scheitelpunktes des Gewölbes zwifchen *A* und *C* mit dem Halbmeffer *t c* einen Kreisbogen *K*, fo kann man die Breite *a d* der Rippe *D* derart einfügen, dafs *a* nach *c* gelegt und *d* auf den Kreisbogen *K*, nach *C* gerichtet, gefetzt wird. Die von *t* durch den Halbierungspunkt der Breite *c d* geführte Gerade *t n* ift die neue Mittellinie für die Rippe *D*. Benutzt man diefelbe nunmehr

als $p\,h$, parallel zu $n\,t$, beim Austragen der Fufsflächen *A*, *E*, *D* der zugehörigen Rippen in der vergröfserten Darftellung, fo laffen fich diefe Flächen in ihren vor den Laibungen der Kappen liegenden Gliederungen frei und ohne gegenfeitiges Einfchneiden entwickeln. Allerdings treffen fich die Mittellinien der einzelnen Bogen, zumal auch die neue Mittellinie *i* durch Verlegen entftehen mufs, nicht mehr in einem gemeinfchaftlichen Punkte *m*. Hierdurch entfteht in ftatifcher Beziehung der Uebelftand, dafs die Schübe der einzelnen Bogen unter Umftänden als Kräfte im Raume neben einem refultierenden Gefamtdrucke noch ein den Pfeiler auf Drehung beanfpruchendes Kräftepaar erzeugen. Wie das meiftens nicht fehr grofse Drehmoment diefes Kräftepaares durch eine in geeigneter Weife ausgeführte Ausmauerung der Gewölbzwickel thunlichft aufgehoben werden kann, wird bei der Stabilitätsunterfuchung der Pfeiler näher angegeben werden.

Bei der hier getroffenen Anordnung der zufammentretenden Rippen beginnen die Kappen unmittelbar in den in der Kämpferebene liegenden Punkten *a*, *b*, *c*, *d* u. f. f., fo dafs ein einheitliches Emporwachfen der Rippen und Kappen von der gemeinfchaftlichen Kämpferebene aus eintreten kann. Der gegliederte Gewölbanfatz kann nun entweder von einer Säule getragen werden, deren Kapitelle fich in ihrer Kelch- und Deckplattenbildung der Grundrifsfläche des Gewölbfufses anzupaffen haben; oder derfelbe kann auf einer Stütze ruhen, deren Querfchnitt eine Geftaltung erfährt, welche ihrem Wefen nach in innigem Zufammenhange mit dem gegliederten Gewölbanfatze bleibt. Hierdurch entfteht alsdann der gegliederte Pfeiler.

Fig. 243.

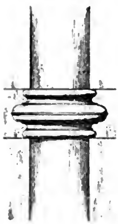


Den Ausmittelungen der Fufsflächen der Rippen entfprechend, ift in Fig. 243 die Geftaltung des Querfchnittes eines einfachen gegliederten Pfeilers gegeben. Um für die Rippen eine hinlängliche Auffatzfläche zu fchaffen, ift eine zweckdienliche Grundrifsform der Deckplatte für die Kapitellbildung am Pfeilerkörper, wie rechtsfeitig in der Zeichnung angegeben ift, zu entwerfen.

175. Eckige Pfeiler mit Dienften.

Zur Ueberführung des gegliederten Gewölbanfatzes nach dem eigentlichen Pfeiler, nur getrennt durch das Pfeilerkapitell, dienen befonders am Pfeilerkern angefügte Säulen. Der Querfchnitt derfelben geht meiftens über den Halbkreis hinaus. Die Säulen felbft führen den Namen Dienfte. Ihre Anordnung zeigt die Seite *F* in Fig. 243. Diefelben können fowohl bei gegliederten Pfeilern mit rundem Kern, als auch bei folchen mit eckigem Kern auftreten. Wie das ganze Kapitell den Pfeilerkern mit den Dienften verbindet, wobei jeder Dienft feine befondere Kapitellbildung erhält, fo find auch weiter die Dienfte und der Pfeilerkern durch eine gemeinfchaftliche, im Grundrifs vieleckig geftaltete Bafis, eine fog. Fufsung, vereinigt, auf welcher für jeden einzelnen Dienft wiederum eine befondere Bafis angeordnet ift. Meiftens erhalten die Gurt-, bezw. Scheidebogen Dienfte mit

Fig. 244.

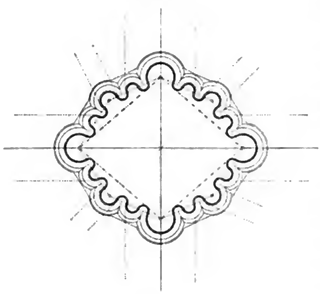


gröfserem Durchmeffer als die Diagonal- oder Kreuzrippen. Die kräftigeren Dienfte heifsen alte, die fchwächeren dagegen junge Dienfte.

Die in charakteriftifcher Weife bei diefen gegliederten Pfeilern auftretenden Dienfte werden entweder bei jeder Pfeilerfchicht mit angearbeitet, oder fie werden vielfach als felbftändige cylindrifche Stäbe behandelt und in dichter Berührung an den Pfeiler gelehnt oder felbft fo angeordnet, dafs fie den Pfeilerkern in geringer Entfernung frei als Säulchen umftehen.

Die felbftändigen Dienfte werden bei gröfserer Höhe aufser ihrer Verbindung mit der Bafis und dem Kapitell des Pfeilers oft noch mit dem Pfeilerkern durch fog. Ringe, Bunde oder Gürtel (Fig. 244) in Zufammenhang gebracht. Die Stärke und auch die Anzahl der Dienfte richtet fich nach der Querfchnittsentwickelung der Gurt-, Scheide- und Kreuzrippen, welchen der gegliederte Pfeiler als Stütze zu dienen hat. Da die Gurt- und Scheidebogen häufig in ihrem vor dem eigentlichen Gewölbe liegenden Querfchnittsteile der Breite und Höhe nach eine ausgedehntere Entwickelung erfahren als die Kreuzrippen (Fig. 245), fo verlangen erftere an fich ftärkere Dienfte als letztere. Hierbei kann die Bildung des Bogenanfatzes auch felbft eine Verbindung der Gurt-, bezw. Scheidebogen mit den Kreuzrippen im Gefolge haben, welche für die Kreuzrippen keine befonderen Dienfte bedingt. Diefe Rippen werden dann wefentlich durch den eigentlichen Kern des Pfeilers geftützt.

Fig. 245.

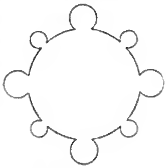


Ift der Querfchnitt der Gurt- oder Scheidebogen in fog. Ringen fymmetrifch ftaffelförmig nach oben verbreitert geftaltet, fo erhält auch wohl jede Staffel für fich einen Dienft. So würden für einen Querfchnitt von zwei Ringen drei Dienfte eingeführt werden können, von welchen der Dienft des unteren breiteren Ringes ftärker fein foll als die danebenftehenden Dienfte der beiden fchmaleren Staffeln des oberen Ringes. Die Beobachtung der Querfchnittsbildung der Rippen und des danach zu fchaffenden Grundriffes des Gewölbanfängers bedingt demnach die Zahl, die Stellung und die Abmeffung der Stärke der Dienfte des gegliederten Pfeilers und damit weiter die Grundform der gefamten Pfeilerbildung. In erfter Linie tritt für das Feftlegen diefer Grundform alfo die Bedingung auf, den gegliederten Pfeiler in zweckmäfsiger Weife als Stützenkonftruktion herzurichten, wenn dabei auch eine völlig regelmäfsige Geftaltung der Grundform aufgegeben werden mufs. Ob die erwähnte Bedingung mit einer regelmäfsig gebildeten Grundform des Pfeilers in Einklang zu bringen ift, mufs in jedem einzelnen Falle einer befonderen Ueberlegung vorbehalten bleiben.

Um die Grundform des Pfeilers möglichft lebendig zu geftalten, find die einzelnen

Dienſte häufig durch in den Kern des Pfeilers tretende Hohlkehlen verbunden, oder die ganze Grundform iſt durch Anwendung mehrfacher Profilierungen, welche auch ſelbſt eine Umwandelung des Kreisquerſchnittes der Dienſte im Gefolge hat, äuſserſt reich und bewegt gebildet. Die Werke der gotiſchen Baukunſt bieten hierfür eine groſse Anzahl von Beiſpielen.

Fig. 246.



176. Rundpfeiler mit Dienſten. Wird an Stelle der einfachen Säule eine ſolche mit angefügten Dienſten zum Stützen der Bogenanfänge des Gewölbes benutzt, ſo entſteht der Rundpfeiler mit Dienſten.

Der eigentliche Kern dieſer häufig gebrauchten Pfeiler iſt in ſeinem Querſchnitte durch einen Kreis (Fig. 246) oder durch eine ſonſtige in ſich zurückkehrende krumme Linie (Fig. 247) begrenzt. Die Beſtimmung der Zahl, Stellung und Stärke der Dienſte, ſowie das Feſtlegen der Form des Kernes dieſer mehr oder weniger reich gegliederten Rundpfeiler iſt nach den beim eckigen Pfeiler mit Dienſten gegebenen Erörterungen zu treffen.

177. Ungegliederte Pfeiler. Die einfache Rundſäule oder der einfache, im Querſchnitt quadratiſch, rechteckig oder regelmäſsig vielſeitig geformte Pfeiler mit entſprechender Bildung des Kapitells und der Fuſsung (Baſis) iſt, an und für ſich als Stütze des Bogenanfängers betrachtet, die Grundgeſtalt des ungegliederten Pfeilers. Geſtattet die Grundriſsform des Anfängers vom Rippenkörper des Gewölbes unter fachgemäſsem Zuſammenziehen und Anordnen der Rippenprofile ein ungezwungenes Aufſetzen auf die geeignet umgrenzte Deckplatte des hiernach entwickelten Kapitells der Säule oder des Pfeilers, ſo wird in dieſer einfachen Stütze unter Beobachtung ihrer geeigneten Stärke ein ſchätzenswertes Konſtruktionsglied erhalten. Erfordern gröſsere Grundriſsflächen der Bogenanſätze eine weſentliche Vergröſserung des Durchmeſſers der Säule, bezw. des Pfeilers, ſo wird, wenn ein engeres Zuſammenziehen der Rippenprofile nicht möglich iſt, ein weit ausladendes Kapitell und unter Umſtänden eine übertriebene Stärke der Stütze ſelbſt ſich geltend machen. Wird auch zur Vermeidung der groſsen Anhäufung von Material in der Stütze und der Beſeitigung der hierdurch erzeugten ungünſtigen Erſcheinung derſelben die Bildung des gegliederten Pfeilers mit Dienſten angebahnt, ſo iſt doch häufig und namentlich bei den ungegliederten Pfeilern der Spätzeit der Gotik eine Umwandelung der Stützen der Bogenanfänge vorgenommen, wobei ſowohl auf das Einfügen eines Kapitells, als auch auf eine Verbindung mit Dienſten Verzicht geleiſtet wurde. Hierbei treten die verſchiedenſten Anordnungen auf. Die Rippen ſetzen ſich, aus den Mantelflächen der Stützen abzweigend, unmittelbar an den Körper derſelben, oder ſie werden mittelbar durch am Stützkörper vorhandene konſoleartige Auskragungen, bezw. durch kurze auf Auskragungen ſtehende Dienſte mit oder ohne Kapitell u. ſ. f. getragen. Dabei durchſchneiden (Fig. 248) die Mantelflächen des ungegliederten Pfeilers nicht allein die Seitenflächen der Rippenkörper, ſondern auch vielfach die Gewölbflächen der Kappen, ſo daſs im allgemeinen eine mehr nüchterne Anordnung beſteht, wenn nicht in geſchickter und künſtleriſcher

Fig. 247.

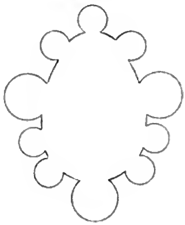
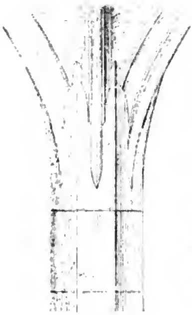


Fig. 248.



Weiſe für ein lebendiges Verweben des Bogenanſatzes mit dem Stützkörper geſorgt wird.

178. Wandpfeiler.

Die Wandpfeiler ſind im weſentlichen Teile der freiſtehenden Pfeiler, welche ſo weit in Benutzung treten, daſs eine ſichere Auflagerung der Bogenanſätze an den Umfangsmauern des überwölbten Raumes erreicht wird. Ihre Anordnung und Grundform richten ſich alſo vorzugsweiſe nach der Durchbildung der gegliederten oder ungegliederten Pfeiler, ſoweit die Zahl der über den Wandpfeilern vorhandenen Teile des Bogenanſatzes dabei maſsgebend wird. Die Anordnung der Wandpfeiler kann in verſchiedener Weiſe getroffen werden. Dieſelben reichen entweder vom Fuſsboden bis zum Bogenanſatz, ſind dabei mit Dienſten verſehen, bezw. treten ohne Dienſte als Pfeilervorlagen mit geringerem Vorſprunge auf, welchem unter dem Bogenanſatze nur kurze Dienſte auf Auskragungen angefügt ſind, oder dieſelben endigen in geeigneter Höhe über dem Fuſsboden und ſind hier als beſondere Auskragungen gekennzeichnet. In jedem beſonderen Falle iſt die Durchbildung der Wandpfeiler in harmoniſcher Uebereinſtimmung mit den freiſtehenden Pfeilern anzuſtreben.

179. Strebepfeiler.

Im Stützenſyſtem des gotiſchen Kreuzgewölbes nehmen die Strebepfeiler als konſtruktive Bauglieder einen hervorragenden Rang ein. Die auf einzelne Stützpunkte der Umfangsmauern der Gewölbanlage übertragenen Gewölbſchübe erfordern ein beſonderes kräftiges Widerlager, welches in ſeiner ganzen Stärke für die zwiſchen den einzelnen Stützpunkten liegende Wand nicht nötig wird, ſondern vorzugsweiſe als ein mit der Wand in Verbindung ſtehender Mauerkörper als Pfeiler, Strebepfeiler genannt, anzuordnen iſt.

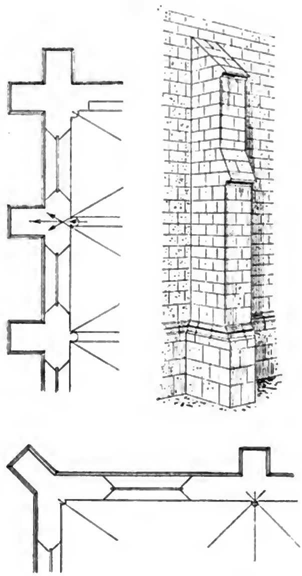
Fig. 249.



Dieſe als ſtützende Mauerkörper herzurichtenden Strebepfeiler (Fig. 249) liegen in der Regel, wie in *I*, auſsen an der Umfangsmauer; ſie können aber, wie bei *II*, auch teils innerhalb der Wand oder, wie bei *III*, ganz innerhalb des Raumes angebracht werden. In den gewöhnlichen Fällen ſtehen dieſelben rechtwinkelig zur Umfangsmauer; bei Mauerecken (Fig. 250) entweder in der Richtung jeder Mauerflucht oder allein in der Richtung der Halbierungslinie des inneren Winkels der zuſammentretenden Mauern. Für die Geſtaltung des Aufriſſes der Strebepfeiler lieſsen ſich, unter ausſchlieſslicher Berückſichtigung der günſtigſten Stabilitätsverhältniſſe und des damit verbundenen geringſten Materialaufwandes, mannigfache Geſichtspunkte feſtſtellen. Die gleichzeitige und nicht minder bedeutungsvolle Rückſicht auf die architektoniſche Ausbildung ſolcher Stützkörper bringt jene Geſichtspunkte jedoch in engere Grenzen. Im beſonderen ſind die Querſchnitts- und die Höhenentwickelungen der Strebepfeiler unter Beobachtung einer möglichſt günſtig im Inneren des Stützkörpers verlaufenden Mittellinie des Druckes vorzunehmen, welche ſich als Fortſetzung des auf den Strebepfeiler gelangenden reſultierenden Gewölbſchubes in Vereinigung mit den Gewichts-

anteilen des Mauerwerkes diefer Widerlagskörper ermitteln läfst. Im allgemeinen wird hiernach eine von oben nach unten durch Abfätze verbreiterte Aufrifsform der Strebepfeiler geltend gemacht, deren weitere architektonifche Behandlung im Einklange mit den ftatifchen Anforderungen in mannigfacher Art erfolgen kann. Einfache Abfchrägungen, Abdeckungen der Abfätze durch Gefimsftücke, durch fchräge Deckplatten, fowie die Anordnung von Wafferfchlägen, von fatteldachartigen Ueberdeckungen, oder das Einführen reichen Schmuckes durch Fialen an der oberen Endigung oder an einzelnen Abfätzen des Strebepfeilers, das Anbringen von Figuren u. f. f. bieten hierfür, wie die Bauwerke des gotifchen Stils in ausgiebiger Weife zeigen, eine Fülle von Hilfsmitteln dar.

Fig. 250.



Noch ift für die folgerechte Entwickelung der Strebepfeiler die Höhenlage der Kämpferebene der Bogen der Lichtöffnungen in der zwifchen den einzelnen Strebepfeilern befindlichen Umfangsmauer in Bezug auf die Kämpferebene der antretenden Gewölbe in Betracht zu ziehen. Liegt die Kämpferebene der Fenfterbogen bedeutend höher als der Gewölbfufs, wie folches bei den Bauwerken der Gotik in Deutfchland und Frankreich in der Regel der Fall ift, fo wird hierdurch eine gröfsere Stärke der Strebepfeiler veranlafst, als wenn, wie bei der Gotik in Italien fich zeigt, die Kämpferebenen der Fenfterbogen und Gewölbe gemeinfam find. Hierbei ift die Stärke der Strebepfeiler herabzufetzen; der Strebepfeiler erfcheint alsdann mehr als eine äufsere Mauervorlage oder Lifene.

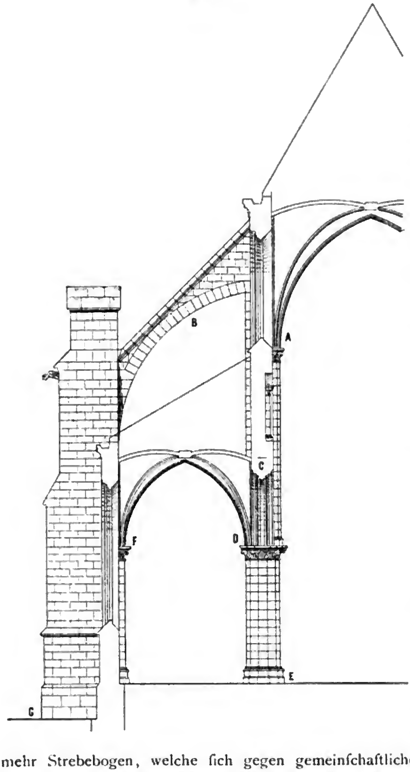
180. Strebebogen.

Ein bedeutungsvolles Bauglied ift die bei der Anlage von gotifchen Kreuzgewölben als wichtiges Strebefyftem eingeführte Vereinigung von Strebebogen oder Schwibbogen mit den Strebepfeilern.

Der Aufbau der gewölbten gotifchen Bafilika forderte, wie in Fig. 251 angegeben, eine fichere Abftützung des vom Schube des Gewölbes *A* des Mittelfchiffes beanfpruchten Pfeilers *C*, bezw. *E*, ohne dafs, diefem Gewölbfchube entfprechend, eine an fich erhebliche Verftärkung des Pfeilers vorgenommen werden durfte. Ebenfo beanfpruchte das in feiner Kämpferebene *DF* bedeutend tiefer als das Gewölbe des Mittelfchiffes gelegene Gewölbfyftem der Seitenfchiffe befondere Stützkörper. Das unter zweckmäfsiger Vergröfserung der Stärke diefer Stützkörper entftehende Widerlager geftattete das Einfugen eines frei über das Gewölbfyftem der Seitenfchiffe

und ihrem Dachwerke hinwegziehenden Bogens *B*, welcher als Strebe dem Gewölbſchube bei *A* Widerſtand zu leiſten und hierzu am Strebepfeiler *G* ſein weiteres Widerlager zu erhalten hatte. Hierdurch wird in vorteilhafter Weiſe der Schub des Gewölbes des Mittelſchiffes auf die Strebepfeiler der Seitenſchiffe übertragen und damit gleichzeitig eine in Rückſicht auf die Stabilität der Zwiſchenpfeiler *E* günſtig auftretende Konſtruktion geſchaffen. Wie die Wirkungsweiſe eines derartigen Strebe- oder Schwibbogens näher beurteilt und wie eine möglichſt günſtige Form für ſeine Wölblinie ermittelt werden kann, wird ſpäter bei der Stabilitätsunterſuchung desſelben gezeigt werden.

Fig. 251.



Konſtruktion und Anordnung des Syſtems der Strebepfeiler in Verbindung mit der Anlage der Strebebogen beeinflufsten als mächtiges Stützengebilde der gotiſchen Kreuzgewölbe, wie aus der Betrachtung der einſchlägigen Bauwerke der Gotik ſich ergiebt, eine architektoniſche Entwickelung des Grundriſſes, ſowie des Aufbaues im Inneren und Aeuſseren, welche die Schranken, die ſich bei der Anlage der ſonſt bekannten Gewölbe einſtellten, zu beſeitigen vermochte. Nicht zu verkennen iſt, daſs infolge dieſes Konſtruktionsmittels, wobei oft durch Anwendung von zwei und mehr Strebebogen, welche ſich gegen gemeinſchaftliche Strebepfeiler ſetzen, der wahre Zweck, die eigentlichen Stützpunkte der gewölbten Decke an den Umfangsmauern gegen nachteilige Veränderungen zu ſchützen, mit einem ſo erheblichen Aufwande von Baukörpern erreicht iſt, daſs häufig die räumliche Wirkung des

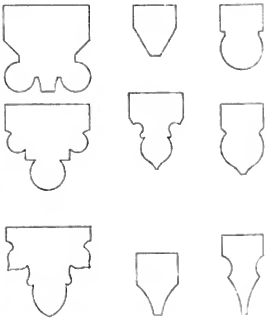
Inneren der Bauanlage gegen das in weitgehender und reichster Weise gebildete äufsere Konstruktionsgerüst zurücktritt.

Von rein statischem Gesichtspunkte aus betrachtet, kann in manchen Fällen bei seitlich nebeneinander gereihten, symmetrisch geordneten Gewölbanlagen mit verschieden hoch gelegenen Kämpferebenen *A* und *F* die Verstrebung der Stützpunkte *A* auch ohne Anwendung der Strebebogen *B* vorgenommen werden. Steigt der Mauerkörper *C* nicht zu bedeutend bis zu *A* hinauf, ist der Pfeiler *E* unter Berücksichtigung der von *A* und *D* antretenden Gewölbschübe an sich einer gewissenhaften statischen Untersuchung unterzogen, so läfst sich durch eine Uebermauerung der Gurte *DF* der Gewölbe des Seitenschiffes ein unter dem Seitendache verbleibender Mauerkörper, welcher selbst in geeigneter Weise mit einer Oeffnung versehen werden kann, als günstig wirkende Stütze für das Widerlager *A* herstellen.

6) Rippen der gotischen Kreuzgewölbe.

181. Rippen. Die Rippenkörper der gotischen Kreuzgewölbe haben in erster Linie das Widerlager für die Gewölbkappen zu liefern. Sie werden an und für sich als schmale, selbständig auftretende cylindrische Gewölbe gestaltet und sind, ihrer Aufgabe gemäfs, als tragende Bogen in den gesamten Gewölbkörper einzuführen. Ihrer Selbständigkeit ist in architektonischer Beziehung Ausdruck zu geben durch die vor den Gewölbflächen liegenden, entsprechend gegliederten Bestandteile, Rippenprofile genannt. Der Querschnitt der Rippen ist in seinen Abmessungen von der Belastung abhängig, welche aufser ihrem Eigengewichte durch die von ihnen getragenen Gewölbstücke entsteht; seine Form richtet sich im oberen Teile nach der Bildung der Widerlagsflächen für die Kappen, dem sog. Rückenansatz, im unteren vorspringenden Teile dagegen nach der gewählten Profilierung. Diese für die Rippen allgemein geltenden Konstruktionspunkte kommen sowohl bei Rippen aus Quadern, als auch aus Backstein in Betracht.

Fig. 252.

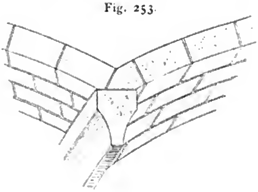


Da die tragenden Rippenbogen vermöge ihrer Beanspruchung eine Gewölbstärke erhalten müssen, welche die ihnen aus architektonischen Gründen zu gebende Breite meistens übertrifft, so ist der Querschnitt der Rippen vorwiegend der Höhe nach zu entwickeln.

In Fig. 252 sind einige Rippenprofile gegeben.

Sieht man von einer Anordnung in Fig. 253 ab, wonach der Rippenkörper nur ein einfaches Auflager und kein besonders ausgebildetes Widerlager für die Gewölbkappen gewährt, so ist es geboten, den

Fig. 253.



Rückenanſatz nach beſtimmten Geſetzen zu bilden, welche mit Hilfe der folgenden Mitteilungen unmittelbar aus der Geſtaltung der antretenden Kappen und vorzugsweiſe aus der Art ihrer Einwölbung abgeleitet werden können.

7) Einwölbung der Kappen.

Die Einwölbung der Kappen gotiſcher Kreuzgewölbe erfolgt hinſichtlich der allgemeinen Anordnung der Wölbſchichten und der Beſtimmung ihrer Lager- und Stoſsfugenflächen entſprechend der Geſtaltung der Laibungsflächen, dem zu verwendenden Material und der Beachtung der ſich in Rückſicht auf die Stabilität des Wölbkörpers geltend machenden Verhältniſſe. 182. Kappen.

Sieht man vorläufig davon ab, ob Backſtein, Quader oder geeignetes Bruchſteinmaterial zur Ausführung der Gewölbe benutzt wird; läſst man auch ferner die Prüfung der Stabilität der Wölbkappen noch nicht in den Vordergrund treten; bemerkt man vielmehr, daſs bei den gotiſchen Kreuzgewölben weniger cylindriſche Wölbflächen, ſondern vorzugsweiſe Gewölbkappen mit Buſung, alſo reine Kugelflächen oder kugelförmige Flächen mit oder ohne Stelzung als Laibungsflächen in Anwendung kommen, ſo kann man die folgenden Arten der Einwölbung dieſer Kappen in Betracht ziehen.

α) Buſige Kappen ohne Stelzung.

Sind die Laibungsflächen der Gewölbkappen buſige Flächen ohne Stelzung, ſo treten hinſichtlich der Richtungen der Wölbſchichten, unter Berückſichtigung einer thunlichſt freihändigen Mauerung dieſer Kappen, vorwiegend vier voneinander verſchiedene Anordnungen auf, welche ſowohl für Gewölbe mit wagrechter Kämpferebene, als auch für anſteigende Gewölbe volle Gültigkeit haben.

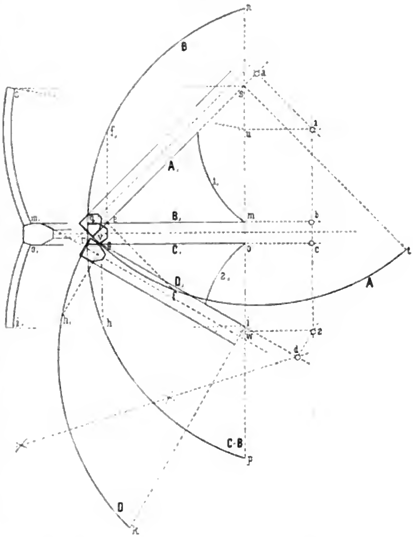
a) Die Wölbſchichten ſind konzentriſche Ringſchichten. In dieſem Falle ſind die Laibungsflächen der Kappen zweckmäſsig als reine Kugelflächen zu geſtalten. Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten ſind alsdann Kegelflächen, deren gemeinſchaftliche Spitze der Mittelpunkt der Kugelfläche der zugehörigen Kappe iſt, während die Stoſsfugenflächen derſelben in Meridianebenen dieſer Kugel liegen. 183. Erſte Anordnung der Wölbſchichten.

In Fig. 254 ſind die Fuſsflächen *q* und *r* der Kreuzrippen und der Fuſs *v* der Scheiderippe, deren Achſen hier unter ungleichen Winkeln und in verſchiedenen Punkten in der Kämpferebene zuſammentreten, in gegenſeitiger Durchſchneidung feſtgelegt.

Die ſeitlichen lotrechten Begrenzungsflächen der Rippenkörper enthalten die Widerlagslinien der antretenden Gewölbkappen. Dieſe Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappen mit den Seitenflächen der Rippen treffen ſich je in einem gemeinſchaftlichen Punkte, wovon *e*, bezw. *g* als wagrechte Projektionen erſcheinen. Bei unregelmäſsig zuſammentretenden Rippenanſätzen liegen dieſe Schnitte im allgemeinen nicht in einer und derſelben wagrechten Ebene. Um trotz ihrer voneinander abweichenden Höhenlage für das Kappenſtück *ems* mit der Scheitellinie *ms* und ebenſo für die Kappe *goi* mit der Scheitellinie *oi* im Hinblick auf eine einfache und geſetzmäſsige Ausführung der Kappenwölbung reine Kugelflächen einzuführen, iſt zunächſt für die Widerlagslinie der Laibungsfläche der Kappe *ems* an der Seitenebene A_1 der Kreuzrippe *q* der Kreisbogen *A* mit der gewählten Höhe *st* um den auf der Geraden *es* liegenden Mittelpunkt *a* geſchlagen. Dieſer Kreisbogen wird natürlich für die Begrenzungslinien der Profile der Kreuzrippe ebenfalls berückſichtigt. Derſelbe iſt aber auch der grundlegende Bogen für die Widerlagslinien an den Seiten B_1, C_1 der Scheiderippe *v* und an der Seite D_1 der Kreuzrippe *r*. Die lotrechte Projektion des Schnittpunktes der Widerlagslinie *A* und der näher zu beſtimmenden Widerlagslinie an der Scheiderippe *v* iſt der Punkt *f*, und ſomit wird in *fe* die Höhenlage dieſes gemeinſchaftlichen Schnitt-

punktes über der Kämpferebene erhalten. Errichtet man in e auf eb das Lot ef_1 von der Länge ef, fo ift f_1 ein Punkt des als Widerlagslinie an der Seite B_1 der Scheiderippe zu ermittelnden Kreisbogens. Ein zweiter Punkt n diefer Widerlagslinie ift durch die Kappenhöhe mn an der Rippe v an fich gegeben oder befonders zu wählen. Hier ift mn etwas kleiner als st angenommen. Endlich mufs zur Erzielung einer reinen Kugelfläche, welcher die Wölblinie A und der durch f_1 und n gehende Kreisbogen angehört, der Kugelmittelpunkt in der Grund- oder Kämpferebene, worin der Mittelpunkt a des Kreisbogens A liegt, enthalten fein. Beftimmt man alfo den Mittelpunkt b auf der verlängerten Geraden em für den durch $f_1 n$ gehenden Kreisbogen B, fo ift hierdurch die Widerlagslinie der Kappenlaibung über ems an der Seite B_1 der Scheiderippe gefunden. Die Lote von a auf ea und von b auf eb liefern in ihrem Schnitte 1 den Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappe ems. Ein um 1, z. B. als z_1, befchriebener Kreisbogen ift die wagrechte Projektion der Lagerkante einer Wölbfchicht, dabei aber auch die Projektion eines auf die wagrechte Kämpferebene zu beziehenden Parallelkreifes der Kugelfläche, fo dafs alle Punkte folcher Lagerkanten gleiche Höhenlage über der Kämpferebene befitzen.

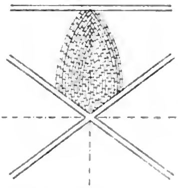
Fig. 254.



Die Widerlagslinie an der Seite C_1 der Scheiderippe v mufs ein Bogen C fein, welcher fich mit dem Bogen B vollftändig deckt. Die Höhe op desfelben ift gleich der Höhe mn, und fein Mittelpunkt c liegt in C_1 auf dem Lote bc auf B_1. Schlägt man um c den Kreisbogen $C = B$ und beftimmt man im Endpunkte h des Lotes gh auf cg die Höhenlage des Schnittpunktes der Widerlagslinien der Kappe goi an den Seiten C_1 und D der begrenzenden Rippen, fo ift nun weiter, unter Benutzung des Lotes gh_1 auf gi mit der Länge gh und des Lotes ik auf gi mit der Länge st, alfo gleich der Höhe des Hauptbogens A, die Lage der beiden Punkte h_1 und k gewonnen, welche dem Kreisbogen D der Widerlagslinie der Kappe goi an der Seite D_1 der Kreuzrippe r angehören. Der zugehörige Mittelpunkt ift in d auf der Geraden D_1 ohne weiteres zu beftimmen. Nach bekannten Mafsnahmen wird in 2 der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe goi gefunden. Der um 2 befchriebene Kreisbogen z_1 ift wiederum die wagrechte Projektion der Lagerfugenkante einer Wölbfchicht. Die Begrenzungslinien der Profile der Rippen v und r folgen den zugehörigen Bogenlinien B, bezw. D. Die Scheitellinie der Kappe ems ift der um u befchriebene Kreisbogen $m_1 s_1$, wobei $mm_1 = mn$ und $ss_1 = st$ fein mufs, während die Scheitellinie der Kappe goi der Kreisbogen $o_1 i_1$ mit dem Mittelpunkte w und den Ordinaten $oo_1 = mn = op$ und $ii_1 = st = ik$ ift.

Den ermittelten Kugelflächen entfprechend, find die Wölbfchichten in den zugehörigen Kappen als konzentrifche Ringfchichten leicht feftzulegen, und danach find auch die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Schwierigkeiten zu beftimmen.

Fig. 255.

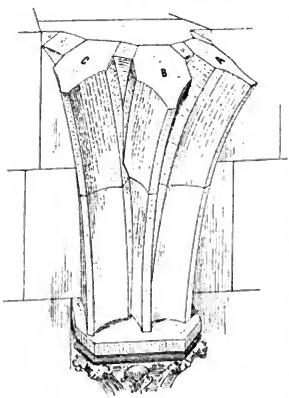


Bei der Anordnung der Wölbung nach konzentrifchen Ringfchichten tritt über der Scheitellinie das Zufammenfchneiden der einzelnen Schichten nach Art des Schwalbenfchwanzverbandes ein. Die Gröfse der Halbmeffer der zugehörigen Kugelflächen und die Lage der Mittelpunkte derfelben beeinflufst das Zufammenfügen der einzelnen Wölbfcharen über den Scheitellinien oft in befonderer Weife.

So kann nach Fig. 255 leicht eine linfenförmige Lücke verbleiben, welche der Weiterführung auf Schwalbenfchwanz vereinigter Schichten zuweilen wenig günftig ift. In folchen Fällen ift der verbleibende Spalt durch befonders hergerichtete Steine zu fchliefsen.

Wie beim Zufammenfchneiden der Fufsflächen der Scheiderippen mit den beiden Kreuzrippen der Rippenanfatz unter Verwendung von Werkftücken gebildet werden kann, möge durch Fig. 256 angedeutet werden.

Fig. 256.



Um die fcharfen Schneiden der Wölbfchichten am Fufse der Kappen zu vermeiden, find die Anfätze der Kappen zweckmäfsig am Anfänger der Rippen mit anzuarbeiten. Ueber den Flächen *A*, *B*, *C* des Rippenanfatzes erheben fich ohne weiteres die einzelnen Rippenftücke frei als felbftändige Rippenkörper, wie die Beftandteile fchmaler Tonnengewölbe, fo dafs zwifchen denfelben das Einfügen der einzelnen Wölbfchichten nunmehr ohne Einengung vorgenommen werden kann.

Bei fphäroidifchen, mit ftarker Bufung verfehenen Kappen ift die Einwölbung nach Art konzentrifcher Ringfchichten, wobei die Lagerfugenkanten je für fich in allen ihren Punkten gleiche Höhe über der Kämpferebene erhalten, wohl möglich, aber weniger am Platze, da hierbei das freihändige Mauern oft fehr erfchwert wird.

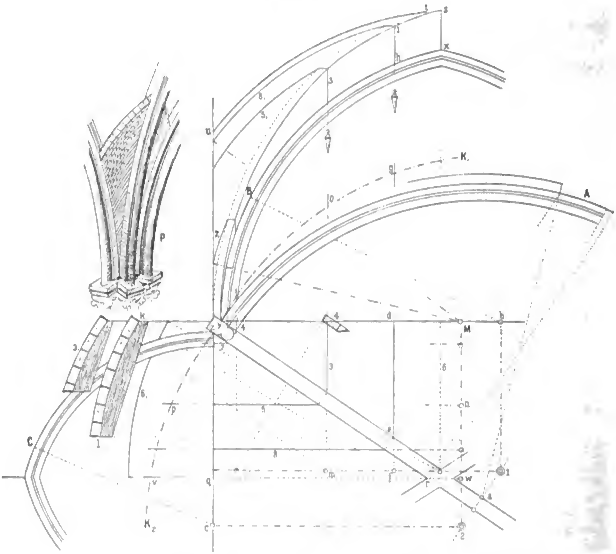
184. Zweite Anordnung der Wölbfchichten

b) Die Wölbfchichten find in ihrer wagrechten Projektion parallel mit der Grundrifsprojektion der Scheitellinie der Kappe. Bei diefer Anordnung entftehen ftreng genommen Wölbfcharen, welche eine innige Verwandtfchaft mit der Wölbung von cylindrifchen Gewölben auf Kufverband aufweifen. Sind bei gotifchen Kreuzgewölben die zwifchen den Rippen liegenden Kappen cylindrifch geftaltet, fo ift die erwähnte Art der Mauerung der Kappen unter Vorausfetzung einer vorherigen Unterfchalung mit keinen befonderen Umftänden verknüpft.

Bei der Bildung der bufigen Kappen und bei der Rückfichtnahme auf ihre freihändige Mauerung hat jedoch die Lage der Wölbfchichten parallel zur Scheitellinie einen bemerkenswerten Einflufs auf die Geftaltung der Lager- und Stofsfugenflächen der Wölbfteine.

Ift nach Fig. 257 auf Grund der in Art. 118 (S. 208) gegebenen Mitteilungen für die Kappen die Beftimmung der Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1* und *2* nebft den zugehörigen gröfsten Kreifen K_1, bezw. K_2 getroffen, fo laffen fich, wie fofort aus der Zeichnung entnommen werden kann, die unteren Lagerkanten der parallel zu den Scheitellinien gerichteten Wölbfcharen austragen. Diefe Lagerkanten gehören lotrechten Ebenen an, deren wagrechte Spuren parallel der wagrechten Projektion der zugehörigen Scheitellinien find. Die Schnittlinien diefer Ebenen mit den betreffenden Kugelflächen find alfo Kreisbogen, welche als *kl* dem Parallelkreife mit dem Halbmeffer *fg*, als $\mathfrak{Z}_1$ dem Parallelkreife mit dem Halbmeffer *mo*, weiter als $\mathfrak{Z}_1$ dem Parallelkreise mit dem Halbmeffer *np* u. f. w. angehören. Diefe Kreisbogen beftimmen die Form der Wölblinie in jeder Lagerkante an der Laibungsfläche der einzelnen nebeneinander liegenden Wölbfchichten.

Fig. 257.

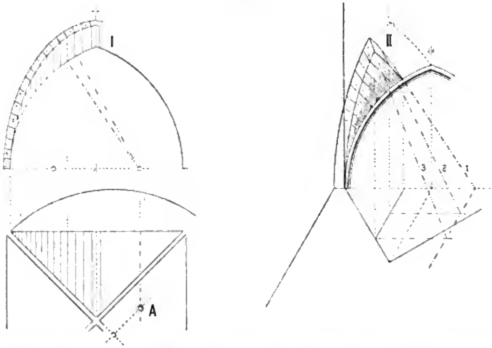


Vermöge der verhältnismäfsig geringen Breite der Wölbfcharen können diefelben in Rückficht auf die Richtung ihrer Stofsfugenflächen als fchmale cylindrifche Gewölbftreifen angefehen werden, fo dafs die Stofsfugenflächen nicht als Kegelflächen, welche für alle Wölbfcharen die gemeinfchaftliche Spitze im zugehörigen Kugelmittelpunkte finden müfsten, fondern als ebene Flächen eingeführt werden, welche, wie in *kl* und $\mathfrak{Z}_1$, fowie beim Anfänger *P* angegeben ift, fenkrecht zu der Wölblinie der vorderen oder hinteren unteren Lagerkante der einzelnen Wölbfchichten ftehen.

Anders geftaltet fich die Anordnung der Lagerfugenflächen der einzelnen Wölbfcharen. In Fig. 258 ift in *I* die Teilung der Schichten am Randbogen für eine Kappenhälfte, deren Laibung die Kugelfläche mit dem Mittelpunkte *A* fei, ausgeführt und danach die Lage der Wölbfchichten beftimmt. Die Kreisbogen der Lagerkanten find die Leitlinien der Lagerfugenflächen. Die Erzeugenden diefer Fläche können als gerade Linien feftgefetzt werden, deren Lage gewiffen vorgefchriebenen Bedingungen unterworfen wird. Geht der Endpunkt diefer erzeugenden Geraden ftets durch den Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher der Kreisbogen der Lagerkante angehört, fo entfteht bei ihrem Fortbewegen an der entfprechenden Leitlinie eine Kegelfläche als Lagerfugenfläche.

Legt man aber nach *II* (Fig. 258) durch die Kugelfläche der Kappe lotrechte Ebenen parallel zur Ebene des Randbogens, fo entfteht eine zweite Schar von leicht

Fig. 258.



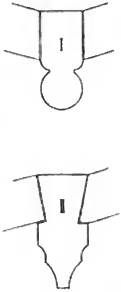
beftimmbaren Parallelkreifen, welche die unteren Lagerfugenkanten der Wölbfchichten fchneiden. Zieht man durch diefe Schnitte und durch die Mittelpunkte der zugehörigen zweiten Gruppe von Parallelkreifen die erzeugenden Geraden, wie *1*, *2*, *3* erkennen laffen, fo entfteht eine windfchiefe Fläche als Lagerfugenfläche.

Im allgemeinen kommen nur diefe beiden Geftaltungen der Lagerfugenflächen in Betracht. Bei Backftein- und dünnem Bruchfteinmaterial tritt in den meiften Fällen keine befonders vorzunehmende Zurichtung der Lagerflächen in der einen oder anderen Weife ein, weil fich hierbei ein Ausgleich in der Flächenbildung durch eine entfprechende Stärke der Mörtelbänder in den Lagerfugen fchaffen läfst. Bei Quadermaterial ift aber die Bearbeitung der Lagerflächen nach den gegebenen Erörterungen in ftrenger Weife zu veranlaffen. Ob dabei Kegelflächen oder windfchiefe Flächen mafsgebend werden follen, ift hinfichtlich der praktifchen Zurichtung von ziemlich gleicher Bedeutung. Theoretifch genommen verdienen die Kegelflächen bei einer Bufung der Kappen nach reinen Kugelflächen den Vorzug.

Bei einer in anderer Weife angenommenen Bufung, wovon noch unter b die Rede fein wird, tritt die Anordnung der windfchiefen Lagerflächen ein.

Eine freihändige Ausführung der Kappen iſt bei der beſchriebenen Anordnung der Wölbſchichten möglich. Als Hilfsmittel dienen dabei nur zur Lehre oder bei längeren Wölbſtreifen auch zur Unterſtützung derſelben während ihrer Anfertigung, wie in Fig. 257 bei *kl* und $\mathfrak{Z}_1$ angedeutet iſt, einfache und leichte, ſenkrecht unter die Wölbſchichten ab und zu aufzuſtellende Wölbſcheiben, deren obere Begrenzungslinien, wie die Lagerkanten ſelbſt, Teile der vorhin näher bezeichneten Parallelkreiſe über *fg*, *mo*, *np* u. ſ. f. ihrer zugewieſenen Kugelflächen ſind, mithin je für ſich mit dem beſonderen Halbmeſſer jener Parallelkreiſe beſchrieben werden müſſen.

Fig. 259.



Nach der Bildung der Wölbſchichten laſſen ſich die Widerlagsflächen an den Rippenkörpern ohne Mühe feſtlegen. Dieſe Widerlagsflächen können nach Fig. 259 entweder wie bei *I* lotrechte Anſätze ſein, oder wie bei *II* als ſchwalbenſchwanzförmige Einſchneidungen angearbeitet werden. Dieſer Rückenanſatz ergiebt ſich als zweckmäſsig bei Wölbſchichten, welche gegen einen Rippenkörper anſteigen.

Zu bemerken iſt noch, daſs im letzteren Falle die Anſatzflächen der Wölbſchichten an den Rippen Kegel-, bezw. windſchiefe Flächen werden und daſs ferner an den Wölbſchichten, welche ſich gegen die Diagonalrippen legen, in jedem Falle Schmiegflächen entſtehen, welche namentlich bei Kappen aus Quadern die bereits in Art. 152 (S. 254) erwähnten und als ungünſtig bezeichneten Schneiden an den Anſatzſteinen der Kappen bedingen, wenn nicht eine beſondere, für gotiſche Kreuzgewölbe aber weniger in Betracht kommende Bearbeitung der Rippenſteine vorgenommen werden ſollte.

185. Dritte Anordnung der Wölbſchichten.

c) Die Lagerfugenflächen der Wölbſchichten liegen in Normalebenen zum Randbogen. Für die Mauerung der buſigen Kappen aus freier Hand iſt bei Verwendung von Backſteinen oder von leichten, gut zu bearbeitenden Bruchſteinen immer eine Anordnung der Schichten vorteilhaft, wonach, wie bei den Kugelgewölben, vom Gewölbfuſse an, durch die geſchaffene Mauerung eine Unterſtützung der höher liegenden Schichten bereits geboten werden kann. Die unter a beſprochenen konzentriſchen Ringſchichten entſprechen dieſer Forderung, während derſelben bei der unter b mitgeteilten Schichtenlage weniger genügt wird. Auſserdem iſt in Rückſicht auf die an ſich vorhandenen ebenen Seitenflächen des Wölbmaterials auch die Beibehaltung ebener Lager- und Stoſsfugenflächen an ſämtlichen Wölbſchichten im ganzen Kappenkörper für eine einfache und leichte Ausführung der Maurerarbeit ſehr erwünſcht. Dieſe Gründe geben Veranlaſſung, die Wölbſchichten in ihren Lagerflächen nach Normalebenen zu ordnen, welche für irgend einen hauptſächlich als Träger eines Kappenſtückes auftretenden Rippenkörper feſtzulegen ſind.

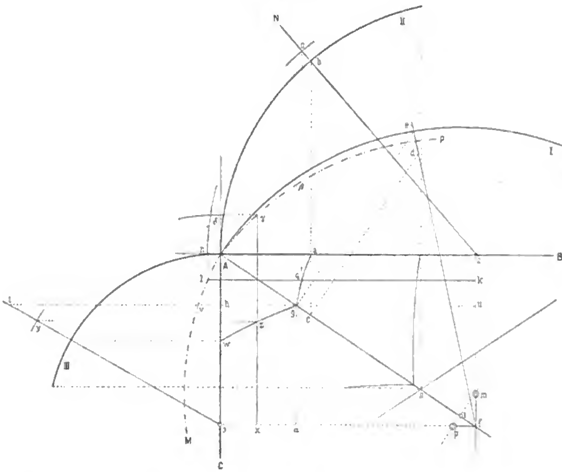
Bei den cylindriſchen Kreuzgewölben iſt ſchon in Art. 147 (S. 249) auf die Anordnung von Wölbſchichten, geregelt durch Normalebenen zum Gratbogen, hingewieſen. Ganz ähnliche Beziehungen ergeben ſich auch bei den Wölbſcharen der Kappen gotiſcher Kreuzgewölbe mit Buſung.

Liegen die Lagerflächen der Wölbſchichten in Normalebenen zum Rand-, Gurt- oder Scheidebogen eines Kreuzgewölbes, deſſen Kappen nach einer reinen Kugelfläche geſtaltet ſind, ſo laſſen ſich die Lagerkanten der Schichten, welche alsdann

in ihrer wagrechten Projektion Teile von Ellipfen werden, nach der in Fig. 260 gegebenen Darftellung leicht ermitteln.

Bei dem über einem reckteckigen Gewölbfelde angenommenen Kreuzgewölbe fei *I* der um *1* als Kreisbogen befchriebene Diagonalbogen, *II* der halbe Randbogen für *AB* mit dem Mittelpunkte *2* und *III* der halbe Randbogen für *AC* mit dem Mittelpunkte *3*. Führt man durch den beliebig gewählten Punkt *b* des Randbogens *II*, welcher hier ebenfo wie die Kreisbogen *I* und *III* als Schnittlinie der Laibungsflächen der Kappen mit den Rippenkörpern angefehen werden foll, eine Normalebene *N* mit der Spur *2 N* in der Ebene des Randbogens *II* und der Spur *2 f*, fenkrecht zu *AB*, in der wagrechten Kämpferebene, fo ergeben fich die Schnittlinien diefer Normalebene zunächft mit der Ebene des Kreisbogens *I* als *fe*, wofür z. B. die Länge des Lotes *cd* auf *Af*, deffen Fufspunkt *c* in der lotrechten Ebene *ab* enthalten ift, gleich der Länge des Lotes *ab* genommen wurde, und fodann mit der Ebene des Kreisbogens *III* als *3 i*, wofür z. B. das dem Punkte *g* entfprechende Lot *hi* auf *AC* gleich der Strecke des Lotes *ge*

Fig. 260.



auf *Af* abgetragen wurde. Die wagrechten Projektionen *a*, *g*, *w* der Schnitte der Spuren *2 N*, *fe*, *3 i* mit den zugehörigen Kreisbogen *II*, *I*, *III* find Grenzpunkte der Grundrifsprojektionen der für die Normalebene *N* entftehenden Wölblinien *ag* der Kappe *1 AB* und *gw* der Kappe *1 AC*.

Um ohne Feftlegen der Achfen der Ellipfen, welche bei den hier angenommenen Kugellaibungen der Kappen zum Zeichnen der Projektionen *ag* und *gw* benutzt werden könnten, Zwifchenpunkte, wie *q* auf *ag* und *z* auf *gw*, zu beftimmen, find die gröfsten Kreife *M* mit dem Mittelpunkte *m* für die Kappe *1 AB* und *P* mit dem Mittelpunkt *p* für die Kappe *1 AC* unmittelbar verwertet.

Die parallel zu *AB* fenkrecht in *kl* aufgeftellte Ebene fchneidet die Kugelfläche *1 AB* in einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer *kl*. Derfelbe trifft, um *2* mit *2 n* = *kl* befchrieben, die Spur *2 N* im Punkte *o*. Die wagrechte Projektion *q* auf *kl* diefes Durchganges *o* ift ein Zwifchenpunkt auf *ag*.

Ebenfo wird die Kugelfläche *1 AC* von der nach *xγ* geführten lotrechten Ebene nach einem Parallelkreife mit dem Halbmeffer *3 δ* = *xγ* gefchnitten, welcher auf der Spur *3 i* den Punkt *y* liefert, deffen wagrechte Projektion *z* auf *xγ* einen Zwifchenpunkt der Wölblinie *gw* ergiebt.

Die Wölblinien, alfo die Lagerkanten der Wölbfcharen der Kappen, find ftets Beftandteile der gröfsten Kreife ihrer Kugelflächen, weil diefelben in Ebenen liegen, welche durch den Mittelpunkt diefer zugehörigen Kugelflächen gehen. Aufserdem haben fämtliche Normalebenen die ihnen zukommenden, rechtwinkelig zu den Ebenen der Randbogen ftehenden Kugelachfen als gemeinfchaftliche Schnittlinie. Danach ift alfo die wirkliche Geftalt für die Lagerkante in der Normalebene *N* der Kappe *sAB* in dem Teile *Av* des zwifchen den Parallelen *zA* und *ug*, bezw. *uv* gelegenen, zugehörigen gröfsten Kreifes *M* und für die antretende Lagerkante *gw* in dem von den Parallelen *ЗA* und *αg*, bezw. *αβ* begrenzten Stücke *Aβ* des zugehörigen gröfsten Kreifes *P* dargeftellt.

Mit Hilfe diefer einfachen Beziehungen können die Anfatzflächen für die Kappen an den Rippenkörpern, nachdem die Einteilung der Wölbfcharen an den Randbogen vorgenommen ift, unter Berückfichtigung der normalen Stellung zu den Laibungsflächen der einzelnen Wölbfcharen, welche für alle Stofsfugenflächen, alfo auch für Anfatzflächen, unmittelbar durch die entfprechenden Meridianebenen der in Frage kommenden Kugelflächen erhalten wird, ohne befondere Umftände beftimmt werden.

Die mit gleichem Halbmeffer befchriebenen Lagerkanten der Wölbfcharen, das ohne grofse Mühe zu bewirkende Feftlegen der Endpunkte von gruppenweife zu nehmenden Wölblinien an den Rippenkörpern, die in einfacher Weife zu fchaffende normale Richtung der Lager- und Stofsfugenflächen ergeben für eine freihändig auszuführende Mauerung der Kappen grofse Vorteile. Als geeignetes Werkzeug kann beim Wölben der Kappen ein verftellbarer Stichbogen (Fig. 261 [24]), hier und dort »Säbelfcheide« genannt, zum Innehalten richtiger Wölblinien oder zur Prüfung der Lage der gemauerten Wölbfcharen in Gebrauch genommen werden. Die beiden nebeneinander liegenden, mit Nut und Zapfen als Führung verfehenen, verfchieblichen Bretter find oben nach einem Teile des für eine Kappe ermittelten gröfsten Kreifes gerundet. Durch Zufammenfchieben oder Ausziehen diefer Lehre wird für kürzere oder längere Wölbfcharen die erforderliche Wölblinie erhalten. Durch die an den Stirnen diefes verftellbaren Stichbogens angebrachten kleinen eifernen Winkel kann die Auflagerung feiner Enden und gleichzeitig dann eine Unterftützung der Wölbfcharen durch diefe Wölblehre während der Ausführung erreicht werden. In neuerer Zeit werden diefe verftellbaren Stichbogen nach Fig. 262 [25]) auch aus Schmiedeeifen angefertigt.

Fig. 261.

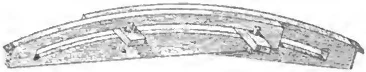
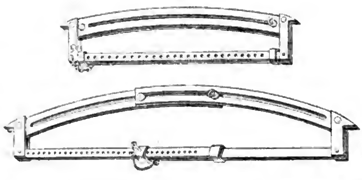


Fig. 262.



Bei der befchriebenen Anordnung der Schichten tritt über der Scheitellinie der Kappen der Zufammenfchnitt der Wölbfcharen nach Schwalbenfchwanzverband ein. Hierbei zeigt fich aber meiftens ein fehr flach gegeneinander tretendes Schnäbeln der zufammentreffenden Steine. Um das dann in erhöhtem Mafse er-

[24]) Siehe: Viollet-le-Duc. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 4. Paris 1861. S. 106.
[25]) Von Oscar Schach, Altenburg S.-A. — G.-M. Nr. 2885.

forderliche Verhauen dieser Schnabelsteine über der Scheitellinie zu vermeiden, kann, wie aus Fig. 260 bei *s* zu ersehen ist, die Grenze für die eigentliche Einwölbung der Kappen durch einen linsenförmigen Spalt gebildet werden, welcher durch kleine Gewölbstreifen, die sich rechtwinkelig nach Art des *Moller*'schen Verbandes gegen die Seitenflächen der Linse setzen, leicht zu schliessen ist. Der geschilderte Fugenschnitt der Kappen kann auch selbst in seinen Grundlagen beibehalten werden, wenn durchweg Quader als Wölbmaterial Verwendung finden sollen.

186. Vierte Anordnung der Wölbschichten.

b) Die Lagerfugenflächen der Wölbschichten liegen in Normalebenen zum Gratbogen. Um die Vorteile der unter c erklärten Anordnung der Wölbschichten für die praktische Ausführung der Kappen vollständig auszunutzen und um aufserdem noch einen zweckmäfsigeren Zusammenstofs der über der Scheitellinie der Gewölbe zu vereinigenden Wölbscharen in möglichst rechtwinkelig auf Schwalbenschwanzverband geordneten Wölbsteinen zu erzielen, ist die Anlage der Wölbschichten nach Normalebenen zum Grat- oder Diagonalbogen vorzugsweise geeignet. Diese Anordnung findet denn auch bei den gotischen Kreuzgewölben, deren Kappen aus Backsteinen oder geeigneten Bruchsteinen ausgeführt werden sollen, gleichgültig, ob die Busung dieser Kappe einer Kugelfläche oder einer anderen gesetzmäfsig gebildeten Fläche entspricht, in der Regel die weitgehendste Anwendung.

Wird zunächst die Gewölbbildung mit Kappen, deren Laibungsflächen in bekannter Weise als Kugelflächen gestaltet sind, betrachtet, so mögen in Fig. 263 die Kreisbogen *A* mit dem Mittelpunkte *a*, *B* mit dem Mittelpunkte *b* und *C* mit dem Mittelpunkte *c* die Schnittlinien der Laibungsflächen der Kappenstücke *I* und *II* an den Randbogen, bezw. an der Diagonalrippe sein. Für diese Diagonalrippe ist die Breite cc_1 im Grundrisse angenommen. Der Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *I* wird in der wagrechten Kämpferebene in *1* erhalten; der gröfste Kreis dieser Kugel mit dem Halbmesser *1c* ist als ck_1 angegeben.

Für die Kugelfläche der Kappe *II* ist *2* in der Kämpferebene der Mittelpunkt, *2f* der Halbmesser und fk_2 ein Stück ihres gröfsten Kreises. Irgend eine durch den Kreisbogen *C* gelegte Normalebene *N* mit der Spur *cd* in der Ebene der Anschlufslinie *C* an der Diagonalrippe und der rechtwinkelig in *c* auf *cc* stehenden Spur *2cg* in der wagrechten Kämpferebene, welche zugleich die Achse der Kugelflächen der Kappen *I* und *II* ist, durch welche die sämtlichen Normalebenen des Bogens *C* gehen, schneidet als Meridianebene diese beiden Kugelflächen je für sich nach den schon bestimmten gröfsten Kreisen k_1, bezw. k_2. Hierdurch ist bereits die wirkliche Gestalt der unteren Lagerkanten der Wölbschichten erhalten, und infolge hiervon kann, wie in *E* und *D* gezeigt ist, nach Angabe der Kappenstärke und der Breite der Diagonalrippe sofort unter Benutzung der zugehörigen Kugelmittelpunkte *1* und *2* der sog. Normalschnitt in wahrer Gröfse unter Einführung des Rückenansatzes, sowie der Profilirung am Grat äufserst leicht ausgetragen werden. Sämtliche Stofsfugenflächen der Wölbschichten gehören wiederum Meridianebenen der betreffenden Kugelflächen an. Hiermit ist eigentlich das Notwendige für die praktische Ausführung der Wölbung der Kappen und für die Bestimmung der Ansatzflächen an den einzelnen Rippen vollständig gegeben.

Die Lagerflächen folgen stets den Normalebenen zum Grat. Geübte Maurer sind im stande, die richtige Stellung dieser Ebenen beim freihändigen Aufbau der Kappen innezuhalten. Wird zur Aufrechterhaltung der wirklichen kreisförmigen Lagerkanten als Hilfsmittel die in den Fig. 261 u. 262 gegebene verstellbare Lehre benutzt, so können bei einiger Sorgfalt unregelmäfsige Gestaltungen in den Wölblinien und damit in den einzelnen Kugelflächen durchaus vermieden werden.

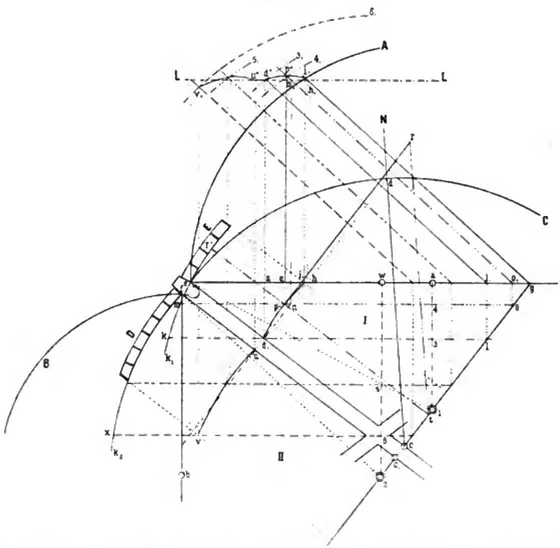
Erscheint es erwünscht, für später unverputzte Kappenflächen einen streng richtigen Verband und einen regelrechten Verlauf der Lagerkanten der Wölbschichten zu wahren, so sind die Projektionen der Lagerkanten für mehrere Normalebenen zum Diagonalbogen durch Zeichnung zu ermitteln, um hierdurch die Lage ihrer Anschlufspunkte, wie *i* am Randbogen *A*, oder auch wie *v* an der Scheitellinie der

Kappe *II* angeben zu können. Namentlich iſt das nach der Zeichnung vorgenommene wirkliche Uebertragen einer Gruppe von Anſchluſspunkten auf die Randbogen für eine regelmäſsige Geſtaltung der Kappenwölbung von Vorteil.

In Fig. 263 iſt die wagrechte Projektion $d_1 i_1$, uv, ſowie die lotrechte Projektion $d_{,,} i_{,,}$, $u_{,,} v_{,,}$ der Wölblinie gezeichnet, welche eine durch den beliebig genommenen Punkt d des Bogens C geführte Normalebene N auf den Kappenflächen hervorruft.

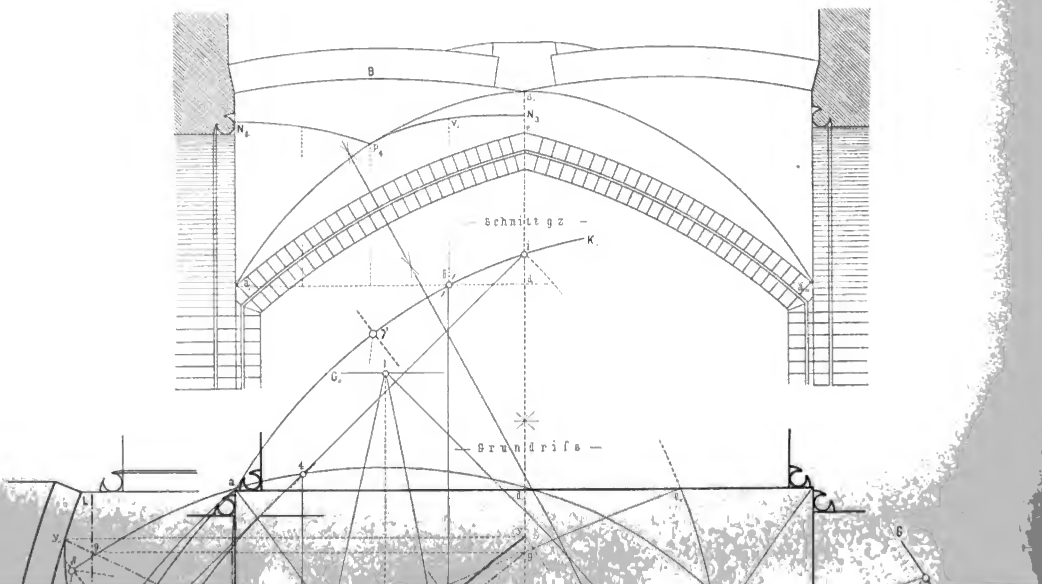
Die Punkte d_1 und u ergeben ſich ohne weiteres auf ee, bezw. fc_1 als wagrechte Projektionen des Punktes d. Die Grenzpunkte i und v ſind in folgender Weiſe beſtimmt. Eine durch d geführte wagrechte Ebene ſchneidet die Normalebene N in einer wagrechten Geraden. Die lotrechte Projektion LL

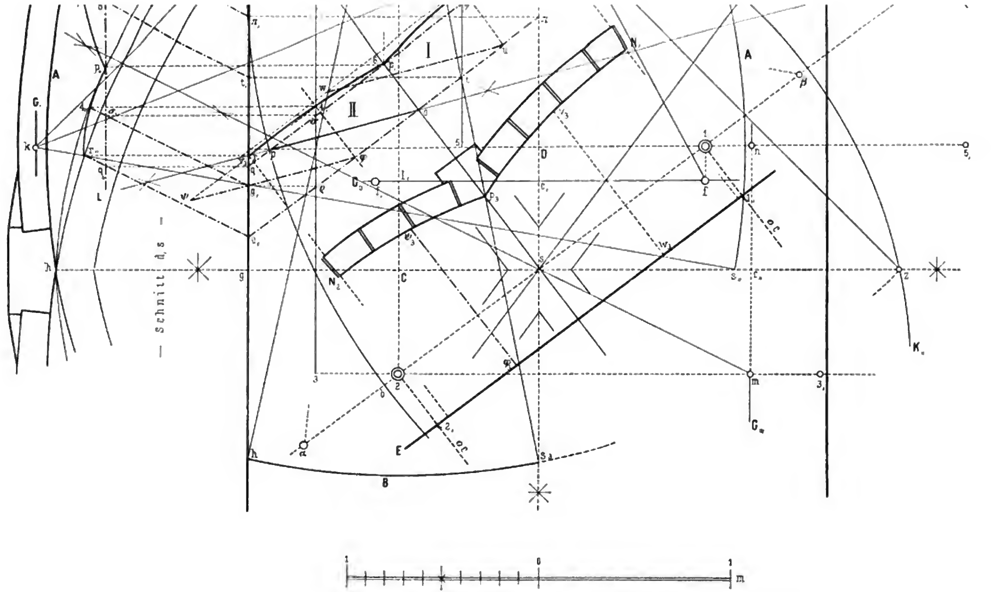
Fig. 263.



dieſer Geraden in der Ebene des Bogens A iſt parallel zu ea im Abſtande $eL = dd_1$ zu führen, während die Grundriſsprojektion hd_1u derſelben parallell zur wagrechten Spur $g2$ der Normalebene N zieht. Die zu h gehörige lotrechte Projektion $h_{,,}$ auf der Geraden LL liefert in Verbindung mit dem Punkte g die Spur $gh_{,,}$ der Normalebene N in der Ebene des Bogens A. Die Verlängerung dieſer Spur $gh_{,,}$ bis zum Bogen A liefert den Schnitt $i_{,,}$ als lotrechte Projektion des Anſchluſspunktes der geſuchten Wölblinie. Die wagrechte Projektion iſt i_1 auf ea. Um einen Zwiſchenpunkt dieſer Wölblinie zu ermitteln, iſt eine lotrechte Ebene parallel zur Ebene des Bogens A, z. B. nach mo, geführt. Dieſelbe wird im Grundriſſe in n von der wagrechten Projektion hd_1u der vorhin gekennzeichneten Geraden LL durchſtoſsen. Die lotrechte Projektion $n_{,,}$ dieſes Durchſtoſspunktes auf LL giebt in Verbindung mit o_1, welcher dem Schnitte o der Geraden mo mit der Spur $g2$ der Normalebene N entſpricht, offenbar die lotrechte Projektion $n_{,,}o_1$ der Schnittlinie dieſer Normalebene mit jener nach mo aufgeſtellten lotrechten Ebene. Letztere ſchneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreiſe mit dem

Zu S. 305.





Kreuzkappengewölbe mit Bufung nach Kugelflächen über rechteckigem Gewölbefelde.

Halbmesser $4m$. Wird mit diesem Halbmesser um a ein Kreisbogen 4_1 beschrieben, so schneidet derselbe die gehörige verlängerte Gerade $n_{,,}o_1$ im Punkte $p_{,,}$, wodurch die lotrechte Projektion eines Zwischenpunktes für die in Frage kommende Wölblinie gefunden ist. Die wagrechte Projektion desselben ist p_1 auf mo. Auf dem beschriebenen, in der Zeichnung weiter zu verfolgenden Wege sind beliebig viele Punkte der Wölblinie zu ermitteln. Zu beachten ist nur, dass für die Kappe II in Bezug auf uv der gröfste Kreis k_2 bei der Bestimmung der in Anwendung zu bringenden Parallelkreise zu berücksichtigen ist und dass ferner die Mittelpunkte dieser Gruppe von Parallelkreisen in dem von 2 auf ea gefällten Lote $2w$ liegen. So ist z. B. der Parallelkreis 6_1 um w mit dem Halbmesser $6x$ zu beschreiben.

Bei der praktischen Ausführung der Kappenwölbung ist es zuweilen erwünscht, die lotrechte Höhenlage gewisser Punkte dieser oder jener Wölblinie über der wagrechten Kämpferebene inne zu halten, ohne die vollständige wagrechte und lotrechte Projektion einer solchen Wölblinie zu zeichnen. Man benutzt für diese Ausmittelung unmittelbar den Normalschnitt DE.

Soll z. B. die lotrechte Höhenlage des beliebigen Punktes $r_{,,}$ einer Wölblinie, welche einem beliebigen Normalschnitte N angehört, dessen Spuren in cd und $2g$ angelegt sind, über der Kämpferebene gefunden werden, so fälle man von $r_{,,}$ das Lot $r_{,,}t$ auf $2g$, ziehe durch t einen Strahl tr parallel zu cN und schneide $tr = tr_{,,}$ ab. Das von r auf $r_{,,}t$ gefällte Lot rp_1 ist die gesuchte Höhe. Gleichzeitig ist in p_1 auf $r_{,,}t$ auch die wagrechte Projektion eines Zwischenpunktes der einer Ebene N angehörenden Wölblinie erhalten.

Für die Richtigkeit dieses Verfahrens gelten die folgenden Gründe. Eine lotrechte Ebene, welche parallel zu der Ebene ec des Bogens C nach einer wagrechten Spur $r_{,,}t$ geführt ist, schneidet die Kugelfläche der Kappe I nach einem Parallelkreise, dessen Mittelpunkt t auf der jetzt in Frage kommenden Kugelachse ct, bezw. $2g$ liegt, dessen Halbmesser unter Berücksichtigung des gröfsten Kreises dieser Kugelfläche gleich $tr_{,,}$ wird. Dieser Halbmesser ist in der Normalebene N eine Parallele zum Halbmesser cd der gleichfalls als Parallelkreis auftretenden Schnittlinie C der lotrechten Seitenebene der Diagonalrippe, so dass nach dieser Benutzung der Kugelfläche der Kappe I die Höhenlage des Punktes r in einfachster Weise zu finden ist.

Wie sofort zu erkennen, kann das soeben angegebene Verfahren auch zur Bestimmung der wagrechten und lotrechten Projektionen der Wölblinie angewendet werden, welche irgend einer Normalebene N zukommt.

Für das Einwölben der Kappen der gotischen Kreuzkappengewölbe oder der flachen Kreuzgewölbe, deren Gestaltung in Art. 171 (S. 281) besprochen wurde, ist ebenfalls die Bildung der Wölbschichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen vorwiegend in Gebrauch zu nehmen.

Die Ausmittelung des sog. Normalschnittes und die Bestimmung der Projektionen der zugehörigen Wölblinien ist nach den im vorhergehenden angeführten Grundlagen zu bewirken. Ihre Anwendung soll in der Zeichnung auf umstehender Tafel noch näher gezeigt werden.

Ein rechteckiges Gewölbfeld von 4 m Länge und 3 m Breite ist mit einem Kreuzkappengewölbe mit Busung nach Kugelflächen von 1 m Pfeilhöhe unter Anwendung von Backsteinmaterial zu überdecken. Die Bogenlinie der nicht profilirten Diagonalrippen ist ein flacher Kreisbogen, welcher zur Hälfte als ab seitlich von as mit der Pfeilhöhe $sb = 1$ m gezeichnet ist. Der Mittelpunkt c dieses Kreisbogens, welcher also nicht als Spitzbogen auftreten soll, liegt auf der verlängerten Geraden bs. Eine durch c parallel zu as geführte Gerade G bestimmt die wagrechte Grundebene, worin aufser c auch sämtliche Mittelpunkte der Kugelflächen der Laibungen der Kappen, mithin auch die Mittelpunkte ihrer Schnittlinien mit den lotrechten Seitenebenen der Rand- oder Gurtbogen des Gewölbfeldes liegen. Der Abstand dieser Grundebene oder Mittelpunktsebene von der wagrechten Kämpferebene ergiebt sich als sc.

Im Schnitte nach gz ist die Kämpferebene durch die wagrechte Gerade $a_1a_{,,}$ bestimmt, während dieselbe im Schnitte d_1s gleich durch die schon vorhandene Gerade ag festgelegt ist. Die in d auf $a_,a_{,,}$, bezw. in g auf ag errichteten Lote ds_1, bezw. gh sind gleich der Pfeilhöhe sb, so dass s_1, bezw. h die lotrechten Projektionen des Gewölbscheitels sind. Trägt man auf der Verlängerung von s_1d die Strecke dc_1 gleich der Strecke sc ab, so giebt die durch c_1 parallel zu ad_1 gezogene Gerade $G_{,,}$ die Lage der Grundebene in Bezug auf den Schnitt gz an, wie auch nach Abtragen der Strecke sc

von *g* nach $c_{,,}$ auf der verlängerten Geraden *hg* in der durch $c_{,,}$ parallel zu *ag* geführten Linie $G_{,,,}$ die für den Schnitt $d_1 s$ mafsgebende Grundebene erhalten wird.

Die Schnittlinie der Laibungsfläche der Kappe *I* an der fchmalen Rechteckfeite foll ein flacher Spitzbogen $a_{,} e a_{,,}$ fein, deffen Pfeilhöhe *de* kleiner als die Pfeilhöhe $d_{,} s$, des Gewölbes felbft fein möge. Berückfichtigt man nur die Hälfte $a_{,} e$ diefes mit dem Flachbogen der Diagonalrippe über *as* im Kämpferpunkte $a_{,}$ zufammentretenden Spitzbogens, fo ergiebt fich nach bekannter Konftruktion in *f* auf G_0 der Mittelpunkt für den Kreisbogen $a_1 e$. Nimmt man auf G_0 die Strecke $c_{,} f = c_{,} f_{,}$, fo ift $f_{,}$ der Mittelpunkt der anderen Hälfte $e a_{,,}$ jenes Spitzbogens. Aus diefen Mittelpunkten find, wie der Schnitt *gz* zeigt, auch die konzentrifchen Begrenzungslinien der Profile des vorfpringenden Rand- oder Gurtbogens zu befchreiben. Errichtet man nunmehr in *f* das Lot $f_{,}$ auf G_0, fo fchneidet dasfelbe das in *e* auf *G* vorhandene Lot *eb* im Punkte *1*. Diefer Punkt ift die wagrechte Projektion des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung des Kappenftückes *I*. Der Mittelpunkt der Kugel felbft liegt um die Strecke *sc* lotrecht unter der Kämpferebene. Eine durch den Punkt *1* geführt gedachte lotrechte Kugelachfe ergiebt im Durchftofspunkte *1* mit der wagrechten Kämpferebene den Mittelpunkt eines diefer Kugelfläche angehörenden Parallelkreifes $K'_{,}$, deffen Halbmeffer nun als *1a* im Grundrifs beftimmt ift. Um die Gröfse des Halbmeffers der Kugel zu finden, ift nur durch *1* die Parallele 1γ zu *as* bis zum Schnitte mit $K'_{,}$ in γ zu ziehen, auf dem Lote $e\alpha$ zu *as*, bezw. zu 1γ die Strecke $1\alpha = sc$ abzutragen, wonach in $\alpha\gamma$ diefer Halbmeffer erhalten wird.

Nach diefer Ausmittelung ift die Kugelfläche des Kappenftückes *I* vollftändig feftgelegt. Für das Austragen der Scheitellinie *A* über $d_1 s$ ift von *1* das Lot *1k* auf $c_{,} d_{,}$ zu fällen und auf demfelben die Strecke $Dk = sc$ abzufchneiden. Die durch *k* parallel zu $c_{,} d_{,}$ gezogene Gerade $G_{,}$ ift wiederum als Grundebene anzufehen. Der verlängerte Strahl $c_{,} d_{,}$ trifft den Parallelkreis $K'_{,}$ in *i*; folglich ift *ki* der Halbmeffer der um *k* als Kreisbogen zu befchreibenden Scheitellinie *A*. Als Probe für die Richtigkeit der Zeichnung mufs fich, nachdem der Bogen *A* gefchlagen ift, die Länge $d_{,} e_{,}$ gleich der Pfeilhöhe *de* des Spitzbogens $a_{,} e a_{,,}$ im Schnitte *gz* und die Länge $s s_{,,}$ gleich der Pfeilhöhe *sb* des Diagonalbogens herausftellen. Der Bogen *A* ift danach im Schnitte $d_{,} s$ eingetragen. Die Stirnlinie der Wölbfläche der Kappe *II* möge ein flacher Spitzbogen fein, deffen Pfeilhöhe *gh* gleich der Pfeilhöhe *sb* des Diagonalbogens ift. Für die Hälfte *ah* diefes Spitzbogens ift unter Benutzung der bereits angegebenen Grundebene $G_{,,,}$ in *m* der zugehörige Mittelpunkt beftimmt. Der Schnitt *2* des in *m* auf $G_{,,,}$ errichteten Lotes mit dem Strahle $es\alpha$ ift die wagrechte Projektion des Mittelpunktes der Kugelfläche für die Laibung der Kappe *II*. Entfprechend den bei der Kugelfläche *I* angeftellten Betrachtungen wird der um *2* mit dem Halbmeffer *2a* befchriebene Kreis $K'_{,,}$ ein in der Kämpferebene gelegener Parallelkreis diefer zweiten Kugel. Der Kugelhalbmeffer ergiebt fich als $\beta\delta$. Hierzu ift durch *2* eine Parallele zu *as* zu legen, um ihren Schnitt δ mit dem Parallelkreife $K'_{,,}$ zu erhalten, und weiter $2\beta = sc$ auf *2c* abzufchneiden, wodurch $\beta\delta$ gefunden wird. Für die Scheitellinie *B* über *sg* ift auf dem von *2* auf *sg* gefällten Lote die Strecke $Cl = sc$ abzufetzen, fo dafs $G_{,,}$ Grundebene und *l* Mittelpunkt für den Kreisbogen *B* werden. Der Schnitt *z* der verlängerten Geraden *gs* mit dem Parallelkreife $K'_{,,}$ beftimmt die Länge des Halbmeffers *lz* der Scheitellinie *B*. Als Probe der Richtigkeit mufs am Bogen *B* jetzt $s s_3 = sb$ und ebenfo, da die Pfeilhöhe des Randbogens $gh = sb$ genommen war, $gk = sb$ gefunden werden. Im Schnitte *gz* ift diefer Bogen *B* wiederum berückfichtigt.

Da die Halbmeffer $\alpha\gamma$ für die Kugelfläche *I* und $\beta\delta$ für die Kugelfläche *II* bekannt geworden find, fo ift hierdurch für alle Normalfchnitte zum Gratbogen das zum Austragen ihrer wirklichen Gröfse Erforderliche erreicht. Die Wölblinien von fämtlichen Normalfchnitten find Teile der mit den Halbmeffern $\alpha\gamma$, bezw. $\beta\delta$ zu befchreibenden gröfsten Kreife ihrer Kugelflächen. So ift auch für den Normalfchnitt *pc* die Wölblinie $p_3 N_1$ mit dem Halbmeffer $\alpha\gamma$, die Wölblinie $p_3 N_2$ mit dem Halbmeffer $\beta\delta$ zu befchreiben, wobei die Mittelpunkte der einzelnen in p_3 fich fchneidenden Kreisbogen in den durch *1*, bezw. durch *2* fenkrecht zu αe geführten, hier nicht weiter verlängerten Strahlen *oc* liegen.

Sollen, wie in der Zeichnung gefchehen, fämtliche Projektionen der durch eine Normalebene, z. B. *pc*, des Diagonalbogens *ab* auf den Wölbflächen *I* und *II* entftehenden Schnittlinien dargeftellt werden, fo kann dazu der folgende Weg dienen. Die durch die wagrechte Projektion $p_{,}$ des Punktes *p* fenkrecht auf *as* gehende Gerade *qq* fei die Grundrifsprojektion einer durch *p* geführten wagrechten Linie, deren lotrechte Projektion im Schnitte $d_{,} s$ durch $L p_{,,} L$ gegeben ift. Die wagrechte Spur $\pi o_{,}$ der Normalebene *pc* geht in der Kämpferebene rechtwinkelig zu *as* durch den Punkt *o*. Führt man zur Beftimmung irgend eines Punktes der durch die Normalebene *pc* auf der Kugelfläche *I* hervorgerufenen Schnittlinie beliebig eine lotrechte Ebene parallel zur Seitenebene *ag*, z. B. durch *56*, fo wird die durch *qq* und $\pi o_{,}$ gelegte Ebene nach einer Geraden mit den Projektionen *t7* und $t_{,} 8$ getroffen, während die

Kugelfläche *I* von jener lotrechten Ebene nach einem Kreiſe geſchnitten wird, welcher als Parallelkreis der Kugel *I* mit dem bekannt gewordenen Punkte *6* auf K' erſcheint. Eine lotrechte Achſe derſelben geht durch *1* in der Kämpferebene. Trägt man alſo auf dem Strahle *5 1* die Strecke $5\,5_1 = s\,c$ ab, ſo iſt 5_1 der Grundebene des für *5 6* entſtehenden Parallelkreiſes zuzuweiſen, wonach ſich in $5_1 6$ der Halbmeſſer dieſes Parallelkreiſes ergiebt. Für den Schnitt $d_1 s$ iſt aber $G_{,,,}$ die Grundebene. In derſelben iſt durch *n* der Durchſtoſspunkt jener mehrfach erwähnten, den Punkt *1* enthaltenden lotrechten Kugelachſe beſtimmt. Beſchreibt man daher um *n* mit dem Halbmeſſer $5_1 6$ einen Kreisbogen, welcher die verlängerte Gerade $t_1 8$ des Schnittes $d_1 s$ im Punkte $v_{,,}$ trifft, ſo iſt hierdurch die lotrechte Projektion eines Punktes der geſuchten Wölblinie auf der Kappenfläche *I* gefunden. Die wagrechte Projektion dieſes Punktes iſt *v* auf der Geraden *5 6*. Für die Lage des entſprechenden Punktes v_3 im Normalſchnitte $N p_3 N_2$ iſt $w_3 v_3$ gleich dem wirklichen Abſtande innerhalb der geneigten Normalebene von der Kämpferebene *E*, alſo gleich der Hypotenuſe *u w* des rechtwinkeligen Dreieckes *u v w*, deſſen Kathete *v w* gleich der Höhe $x\,v_{,,}$ iſt und wobei auſserdem die Kathete *u v* parallel zu *a s* gerichtet ſein muſs. Für einen Punkt der auf der Fläche *II* durch die Normalebene erzeugten Wölblinie kommt der Parallelkreis $K_{,,}$ in Betracht. So iſt z. B. für das Feſtlegen des Punktes $4_{,,}$ im Schnitte $d_1 s$ zunächſt *3 4* parallel zu *a g* gezogen, alsdann $3\,3_1 = s\,c$ genommen und endlich um *m* mit dem Halbmeſſer von der Länge $3_1 4$ ein Kreisbogen geſchlagen, welcher die verlängerte, hier in Frage kommende Gerade $g_1 c_1$ im geſuchten Punkte $4_{,,}$ trifft. Hiernach ergiebt ſich 4_1 auf *3 4* als ein Punkt der wagrechten Projektion der zugehörigen Wölblinie. Im Normalſchnitte iſt $\varphi_3 \psi_3$ gleich der Hypotenuſe $\varphi \psi$ des rechtwinkeligen Dreieckes $\varphi\, 4_1 \psi$, worin $4_1 \psi$ gleich der Höhenlage des Punktes $4_{,,}$ über *a g* iſt. Nach dieſen Angaben können beliebig viele Punkte der Wölblinien eines Normalſchnittes *p c* beſtimmt werden.

Für die Ausführung der Gewölbkappen aus Quadern wird zur Herſtellung eines ordnungsmäſsigen, in gutem Verbande ſtehenden Fugenſchnittes der Wölbſteine das Zeichnen der Wölblinien im Aufriſs, vorzugsweiſe aber im Grundriſs erforderlich. 187. Wölbung aus Quadern

Bei der Anordnung der Lagerflächen nach Normalebenen zum Diagonalbogen ſind die unteren Lagerkanten bei Kappen mit Kugellaibungen einfach Teile eines gröſsten Kreiſes. Sämtliche Normalebenen gehen durch die Kugelachſe, welche rechtwinkelig zur Ebene des Diagonalbogens ſteht. Je nach der Neigung der einzelnen Normalebenen erſcheinen alſo die Grundriſsprojektionen jener Lagerkanten zwiſchen den Grenzlagen, nämlich der geraden Linie (Kugelachſe) »für die lotrechte Stellung der Normalebene« und dem Kreisbogen (Teil des gröſsten Kreiſes) »für die wagrechte Lage derſelben«, als Stücke von Ellipſen. Durch die an ſich einfache Beſtimmung der Achſen dieſer verſchiedenen Ellipſen wird eine bedeutende Erleichterung für das Feſtlegen der Grundriſsprojektion der Lagerkanten der einzelnen Wölbſchichten herbeigeführt. In Fig. 264 ſind die hierfür in Frage kommenden Darſtellungen gegeben.

Für ein rechteckiges Gewölbfeld iſt der um *a* beſchriebene Kreisbogen *A* die Anſatzlinie des Kappenſtückes *q d s*, der um *b* geſchlagene Kreisbogen *B* die Randlinie des Kappenſtückes *r d s* und der Kreisbogen *C* mit dem Mittelpunkte *c* die Schnittlinie beider Kappenteile an dem hier unprofiliert genommenen Diagonalbogen.

Man findet in *1* den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *q d s* mit dem gröſsten Kreiſe K_1 und dem Halbmeſſer *1 d*, in *2* den Mittelpunkt der Kugelfläche für die Kappe *r d s* mit dem gröſsten Kreiſe K_2 und dem Halbmeſſer *2 d*. Die beiden Kugeln gemeinſchaftliche, lotrecht auf der Ebene des Diagonalbogens *C* ſtehende Achſe iſt die durch *1* und *2* gehende Gerade *I II*.

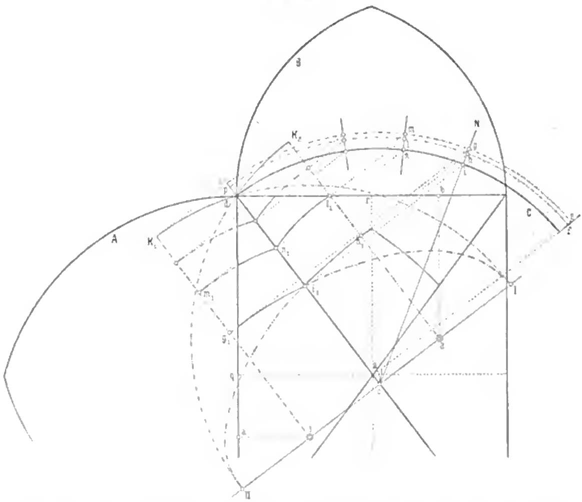
Die auf *I II* in *1* lotrecht ſtehende Gerade $1\,K_1$ und das in *2* auf *I II* gezeichnete Lot $2\,K_2$ ſind Kugelachſen der Kappen *q d s* und *r d s*, welche in *1*, bezw. *2* parallel zur Gratebene *C* geführten Ebenen angehören. Ueber $1\,K_1$ erhebt ſich ein gröſster Kreis $K_1\, I$; über $2\,K_2$ ſteht ein gröſster Kreis $K_2\, II$. Dieſelben ſind nur teilweiſe gezeichnet, aber gleichzeitig als *o e* für $K_1\, I$ und als *p f* für $K_1\, II$ in die Ebene des Bogens *C* gebracht.

Legt man durch den beliebig angenommenen Punkt *i* des Diagonalbogens *C* eine Normalebene mit den Spuren *c N* und *I II*, wovon *c N* den gröſsten Kreis *o e* in *g*, den gröſsten Kreis *p f* in *h* trifft, ſo wird die Kugelfläche *q d c* nach einem gröſsten Kreiſe vom Halbmeſſer *c g*, die Kugelfläche *r d c* nach

einem gröfsten Kreife vom Halbmeffer *c h* gefchnitten. Die auf $1\,K_1$ entfallende wagrechte Projektion des Halbmeffers *c g* liefert die halbe kleine Achfe des in der Grundrifsprojektion als Ellipfe auftretenden gröfsten Kreifes der Ebene *c N*, während die halbe grofse Achfe diefer Ellipfe unverändert gleich $1\,I = 1\,d = c\,g$ bleibt. Ebenfo wird die wagrechte Projektion $2\,h_1$ von *c h* auf $2\,K_2$ die halbe kleine Achfe und *2 II* die halbe grofse Achfe der für den in der Ebene *c N* liegenden gröfsten Kreis vom Halbmeffer *c h* in der Grundrifsprojektion in Frage kommenden Ellipfe.

Diefen Achfen entfprechend find die beiden in i_1 auf *d s* fich fchneidenden Viertelellipfen $g_1\,I$ und $h_1\,II$ gezeichnet. Sie liefern, in $i_1\,g_1$ und $i_1\,h_1$, foweit die Kappenflächen *q d s* und *r d s* dabei überhaupt in Betracht kommen, die Grundrifsprojektion der Lagerkante für eine in der Normalebene *c N* enthaltene Lagerfugenfläche einer Wölbfchicht.

Fig. 264.



Für eine andere Normalebene *c m* entftehen die Lagerkanten $m_1\,n_1\,l_1$ als Teile von Ellipfen mit den Halbachfen *1 I*, *1 m* für $m_1\,n_1$ und *2 II*, $2\,l_1$ für $n_1\,l_1$.

Auf gleichem Wege laffen fich unter Beachtung von Fig. 263 (S. 304) auch die Lagerkanten der Wölbfchichten beftimmen, wenn ftatt einer Gratkante die beiden Anfatzlinien an den Seitenflächen der Diagonalrippen berückfichtigt werden müffen.

Die Breite jeder einzelnen Wölbfchicht nimmt von den lotrechten Ebenen der vorhin erwähnten Kugelachfen $1\,K_1$ und $2\,K_2$ nach beiden Seiten hin gemeffen ab. Für Quadermaterial ift diefe Veränderung der Breite unbedingt zu berückfichtigen. Für die Teilung der Anfatzlinie der Kappen am Diagonalbogen *C* können gleich grofse Teilweiten eintreten. Die Teilpunkte beftimmen alsdann die Richtung der zugehörigen Normalebenen und bedingen damit die Breite der an die Randbogen *A* und *B* ftofsenden Wölbfchichten.

188. Wölbung aus Back- und Bruchſteinen.

Beim Einwölben der Kappen mit Backſteinen oder mit dünnen lagerhaften Bruchſteinen können bei nicht ſehr weit geſpannten Gewölben die Veränderungen in der Breite der an ſich ſchmalen Wölbſcharen durch eine geringe Verſtärkung der Mörtelfugen ausgeglichen werden. Bei Spannweiten, welche über das gewöhnliche Maſs hinausgehen, kann dieſe Veränderung der Breite jedoch das mehrfache Verhauen und das weniger einfache Zurichten der Wölbſteine im Gefolge haben. In ſolchen Fällen bringt man, zur Vermeidung des läſtigen, auch zeitraubenden Verhauens der Steine und zur Verhinderung einer unregelmäſsigen Geſtaltung der Kugelflächen der Kappen, entweder beſonders geformte Wölbſteine in Anwendung, oder man giebt die Lage der Wölbſchichten in Normalebenen zum Diagonalbogen ganz auf und wählt eine andere, den früher beſprochenen Anordnungen entſprechende Bildung der Wölbſchichten.

Für die Stoſsfugenflächen iſt die Veränderung der Breite der Wölbſcharen nicht von groſsem Belang. Dieſe Flächen werden in der Regel den ſenkrecht geſtellten Meridianebenen der Kugelflächen der Kappen zugewieſen.

Die Anſatzflächen der Rippenkörper gehören Kegelflächen an. Sie werden durch die Fortbewegung der entſprechend verlängert gedachten Halbmeſſer der Kugellaibungen an den für die Rippen beſtimmten Anſatzlinien der Kappen erzeugt.

Meiſtens ergiebt die geſetzmäſsige Geſtaltung der Kappen nach reinen Kugelflächen auch eine günſtig erſcheinende Buſung und eine gute Form der Scheitellinie.

189. Kappen mit kugelförmiger Laibung.

Sollen die Laibungsflächen der Gewölbkappen jedoch nicht als reine Kugelflächen ausgebildet werden, ſollen dieſelben vielmehr durch Einführung einer beſonders geſtalteten Buſung eine Umwandelung in kugelähnliche (ſphäroidiſche) Flächen erfahren; ſo findet auch bei dieſen Kappen im allgemeinen die Anordnung der Lagerflachen der Wölbſchichten nach Normalebenen zum Diagonalbogen Anwendung.

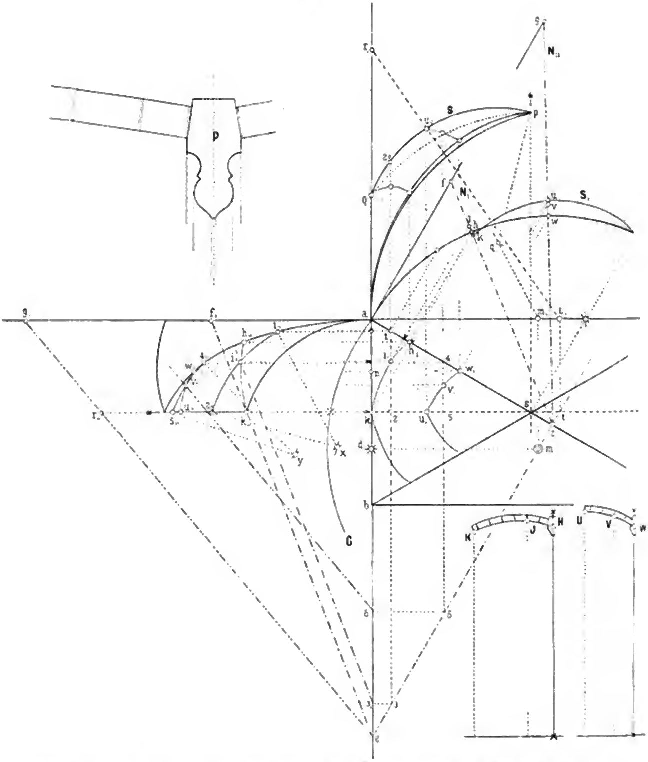
Da in der Regel die Rand- und Diagonalbogen als nach Kreisbogen geſchlagene Spitzbogen beibehalten werden, ſo hängt die Geſtaltung der Laibungsflächen der ſphäroidiſchen Kappen in erſter Linie von der Gröſse der Buſung ab, welche den Wölbflächen gegeben werden ſoll. Sowohl ein übertriebenes, als auch ein zu geringfügiges Maſs dieſer Buſung ſoll vermieden werden.

In Fig. 265 iſt ein allgemein gehaltenes Verfahren gezeigt, wonach die Geſtaltung einer ſphäroidiſchen Kappe abs unter Annahme einer frei gewählten Buſung vorgenommen iſt. Der Grundriſs des Gewölbſeldes ſei ein Rechteck.

Die Anſatzlinien des Kappenſtückes über $a\,k_{,}\,s$ ſind am Randbogen über $a\,k_{,}$ mit dem Halbmeſſer $d\,a$ und $d_{,}$ am Diagonalbogen über $a\,s$ mit dem Halbmeſſer $c\,a$ um c beſchriebene Kreisbogen. Die Anſatzlinie am Randbogen über $a\,m_{,}$ iſt ein Spitzbogen, wovon $a\,p$ einen Schenkel darſtellt. Sämtliche Mittelpunkte dieſer Anſatzlinien liegen in der wagrechten Kämpferebene. Die Scheitelhöhe der Randlinie $a\,p$ möge gleich der Scheitelhöhe der Anſatzlinie an der Diagonalrippe ſein; die Kappe $a\,m_{,}\,s$ zwiſchen dieſen beiden Anſatzlinien möge eine reine Kugelfläche bleiben. Ihre weitere Geſtaltung ſoll hier nicht mehr berückſichtigt werden. Der Scheitelpunkt $k_{,,}$ der Anſatzlinien am Randbogen der ſchmalen Rechteckſeite $a\,b$ liegt weſentlich tiefer als der Scheitel der Anſatzlinien über $a\,s$, bezw. über $b\,s$. Die von dieſen Anſatzlinien begrenzte Kappe über $a\,b\,s$ ſoll eine ſphäroidiſche Laibungsfläche erhalten. Für die Beſtimmung dieſer Fläche iſt nur die über $a\,k_{,}\,s$ gelegene Kappenhälfte in Betracht gezogen. Würde man die Laibung dieſer Kappe als Kugelfläche behandeln, ſo würde m der Mittelpunkt derſelben, G ihr gröſster Kreis und die über $k_{,}\,s$ liegende Scheitellinie der um $m_{,}$ mit dem Halbmeſſer $m_{,}o = m_{,}p$ beſchriebene, punktiert gezeichnete Kreisbogen $o\,p$ ſein. Soll nun, entſprechend einer einzuführenden ſtärkeren oder geringeren Kappenbuſung, eine Umwandelung dieſer Scheitellinie $o\,p$ ſtattfinden, ſo kann dieſelbe durch irgend einen höheren oder flacheren Kreisbogen erſetzt werden oder auch durch irgend eine andere, nach oben ſtärker oder weniger ſtark gebogene, jedoch geſetzmäſsig geſtaltete Linie, wobei nur die Punkte o und p als Endpunkte unverändert bleiben müſſen. Meiſtens wird für dieſe Scheitellinie ein Kreisbogen

genommen. In der Zeichnung ist dieselbe als Kreisbogen *S* mit beliebig gewähltem Halbmesser $oq = pq$ um q beschrieben. Durch diese Scheitellinie *S* und durch die Ansatzlinien über ak, und as sind die Begrenzungslinien der sphäroidischen Kappenfläche über ak, s festgelegt. Für die Erzeugung dieser Fläche selbst ist ein bestimmtes Gesetz zu Grunde zu legen. Hier gelte die Vorschrift, dass jede Schnittlinie,

Fig. 265.



welche auf dieser Fläche durch irgend eine parallel zur lotrechten Ebene des Randbogens der Seite ab geführte Ebene hervorgerufen wird, ein Kreisbogen sein soll, dessen Halbmesser stets die Grösse des Halbmessers da der Ansatzlinie $ak_{,,}$ behält. Dieser Bedingung entsprechend, sind z. B. vermittelst der Ebenen in $1\,2$ und $4\,5$, nach Ausführung einfacher zeichnerischer Darstellungen, welche sofort aus der Zeichnung zu erkennen sind, die erzeugenden Schnittlinien $1_{,,}\,2_{,,}$ und $4_{,,}\,5_{,,}$ bestimmt. Ist auf dem angegebenen

Wege die Erzeugung und Darftellung einer fphäroidifchen Gewölbfläche vorgenommen, fo läfst fich ohne Schwierigkeit die Ausmittelung der Lager- und Stofskanten der Wölbfchichten bewirken, je nachdem diefe oder jene der befprochenen Anordnungen für den Fugenfchnitt der Wölbung getroffen werden foll. In der Zeichnung entfprechen die Projektionen $h, i, k_,$, $h_{,,} i_{,,} k_{,,}$, fowie $w, v, u_,$, $w_{,,} v_{,,} u_{,,}$ den Lagerkanten von Wölbfchichten, welche den Normalebenen $N_,$, bezw. $N_{,,}$ zum Diagonalbogen angehören. Die Beftimmung diefer Projektionen erfolgt nach bekannten einfachen Sätzen der darftellenden Geometrie. Das Nähere hierfür ift in der Zeichnung angegeben. Für das Austragen der wirklichen Geftalt der Wölblinien als *HJK* und *WVU* der Normalebenen $N_,$ und $N_{,,}$, fowie des wirklichen Querfchnittes *P* der Diagonalrippe mit den entftehenden Anfatzflächen, welche in gleichem Sinne ftattfinden kann, wie bei Fig. 208 (S. 250) angeführt ift, giebt die Zeichnung ebenfalls unmittelbar die nötigen Anhaltspunkte.

β) Bufige Kappen mit Stelzung.

Liegen die Mittelpunkte der für das Rippenfyftem der gotifchen Kreuzgewölbe vorgefchriebenen, meiftens nach Spitzbogen geformten Anfatzlinien der Laibungsflächen der Gewölbkappen nicht in einer gemeinfchaftlichen Kämpferebene, bezw. nicht in ein und derfelben Grundebene, oder find von vornherein beftimmte Anfatzlinien in ihren Scheitelpunkten in Bezug auf den höchften Punkt des ganzen Gewölbkörpers in höherem oder geringerem Grade zu heben oder zu fenken, fo erhalten diefe Anfatzlinien durch im allgemeinen in lotrechter Richtung angefügte Fufslinien eine Stelzung. Diefe Stelzung ift fowohl für die Geftaltung und die Art des Einwölbens der Kappen, als auch für die Entwickelung und Konftruktion der Rippenanfänge von Bedeutung. 190. Geftaltung.

Durch die Anfatzlinien find die Leitlinien für die Erzeugung der Kappenflächen gegeben. Die Geftaltung der bufigen Flächen hängt ab von der Form der als Erzeugende gewählten krummen Linie, vom Gefetze ihrer Bewegung an den gegebenen Leitlinien und in vielen Fällen noch von dem Gefetze, wonach die Form der Erzeugenden einer Veränderung während ihrer Bewegung unterworfen werden mufs.

Im folgenden follen an einigen Beifpielen die für die Geftaltungen bufiger Kappenflächen mit Stelzung erforderlichen wichtigften Grundzüge mitgeteilt werden. 191. Beifpiel I.

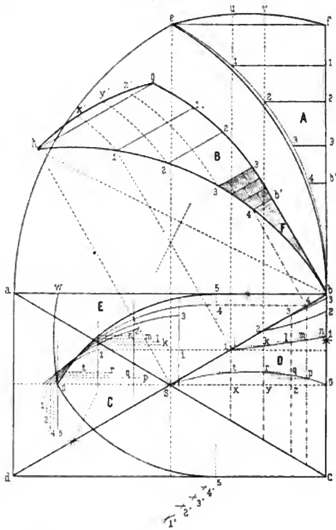
Das Kreuzgewölbe über dem rechteckigen Gewölbfelde *abcd* (Fig. 266) foll in den Scheitelpunkten der fpitzbogigen Anfatzlinien der Randbogen eine gleiche Höhenlage mit dem Scheitel der gleichfalls fpitzbogigen Anfatzlinien am Diagonalbogen erhalten. Die als gegeben angefehene Form diefer Anfatzlinien möge eine Stelzung der Anfatzlinie *505* des Randbogens der fchmalen Rechteckfeite *bc* um eine lotrechte Strecke $b5 = bb_, = bb_{,,}$ erforderlich machen, während die Anfatzlinie *bea* am Randbogen der langen Seite *ab* ohne Stelzung bleibt.

Die Gewölbkappen an den langen Seiten können alfo ohne weiteres nach den in Art. 183 (S. 295) unter α gemachten Mitteilungen geftaltet werden. Die Scheitellinie diefer Kappen fei der Kreisbogen *ow*. Die Gewölbkappen *C* und *D* der fchmalen Seiten, wovon hier nur die Kappe *D* berückfichtigt wird, follen bufige Laibungsflächen mit Stelzung erhalten. Die frei gewählte Scheitellinie diefer Kappen fei der Kreisbogen *ef*.

Wie fofort aus der Darftellung eines Schnittes nach der Richtung der Diagonale *bd* hervorgeht, bildet fich im Teile *F* der Kappe *D* eine am Fufse in einem Punkte begrenzte lotrechte Ebene, deren Höhe $bb_,$ der Strecke der Stelzung *b5*, deren obere Breite der Länge der wagrechten Linie $b_, 4$ entfpricht. Oberhalb diefer Wagrechten $b_, 4$ möge die bufige Laibungsfläche *B* der Kappe *D* beginnen. Die Erzeugende diefer Fläche fei ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer unveränderlich und gleich dem Halbmeffer $55 = cb$ der Anfatzlinie *50* bleibt. Aufserdem foll diefe Erzeugende bei ihrer Fortbewegung an der Anfatzlinie *bh* des Diagonalbogens in Ebenen parallel zur Ebene der Anfatzlinie *b505c* des Randbogens über *bc* und in ihrem höchften Punkte in der Scheitellinie *fe* der Kappe *D* verbleiben. Führt man zur Befolgung diefes Gefetzes durch den beliebigen Punkt *x* der Geraden *os* eine Ebene

parallel zur Stirnebene *bc*, so wird die Leitlinie *bh*, bezw. ihre andere Projektion *b4e* in *1*, die Scheitellinie *ef* in *u* geschnitten. Trägt man weiter auf *oo* die Höhenlage *11* des Punktes *1* der Leitlinie *bh* von *o* aus ab, zieht man entsprechend die wagrechte Gerade *E*, so wird in derselben der Punkt *1* als Lage eines Punktes der gesetzlich vorgeschriebenen Erzeugenden, wie aus der Zeichnung zu ersehen ist, bekannt. Ein zweiter Punkt ist in *1* auf der verlängerten Geraden *oo* enthalten. Die Höhe *o1*, von *bc* aus gemessen, muss der lotrechten Entfernung des Punktes *u* auf der Scheitellinie *ef* von der Spur *ab* der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes gleich sein.

Fig. 266.

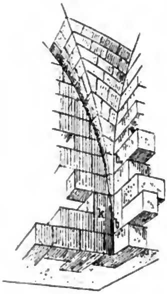


Beschreibt man aus diesen beiden Grenzpunkten *1* und *1* mit dem massgebenden Halbmesser *55* = *cb* des Spitzbogens *505* den Kreuzriss *1,,* so ist der um *1,* geschlagene Kreuzbogen *11* diejenige Erzeugende, welche der durch *x* geführten Ebene zukommt. In gleicher Weise sind die Erzeugenden *22* mit dem Mittelpunkte *33* mit dem Kreuzrisse *3*, u. s. f. für durch *y*, bezw. *z* u. s. f. parallel zu *bc* gelegten Ebenen bestimmt. Zur weiteren Darstellung der Kappenfläche *D* sind oberhalb von *55* durch den Punkt *o* und durch die unteren Endpunkte *1*, *2*, *3* u. s. f. der ermittelnden Erzeugenden *11*, *22*, *33* u. s. f. wagrechte Ebenen gelegt. Die Durchstosspunkte *o*, *t*, *r*, *q* u. s. f. mit der wagrechten Ebene *o* liefern die lotrechten Projektionen einer Wölblinie der busigen Kappe in dieser Ebene. Die wagrechte Projektion dieser Wölblinie ist also, wie die Zeichnung erklärt, durch den Linienzug *strqpo* festzulegen. Genau so ergiebt sich in Bezug auf die übrigen wagrechten Ebenen das Erforderliche zur Darstellung der wagrechten Projektionen der zugehörigen Wölblinien, wie in *iklmn* für die Ebene *E* oder *1*, *22* für die Ebene *2* u. s. f. In den lotrechten Projektionsebenen *A* und *B* erscheinen diese Wölblinien als gerade, parallel zu *ab*, bezw. *bd* geführte Linien *ef*, bezw. *hg*, *11* u. s. f. Nimmt man an der Ansatzlinie *bh* des Diagonalbogens oberhalb der wagrechten Abschlusskante *4b*, der lotrechten Wandfläche *F* eine Einteilung in Wölbschichten vor, deren Lagerkanten in wagrechten Ebenen liegen sollen, so kann man unter Beachtung des Gesagten die Grundrissprojektionen dieser Lagerkanten zeichnen. Die zugehörigen Lagerflächen werden windschief; denn die erzeugenden geraden Linien dieser Lagerflächen geben z. B. für die Lagerkanten *iklmn* im Element *i* durch *1* der Ebene *x*, im Elemente *k* durch *2* der Ebene *y* u. s. f.

Für das Einwölben aus Quadermaterial würde hiernach die Bearbeitung der Lagerflächen der Wölbsteine einzurichten sein. Eine besonders kräftige Mauerkonstruktion erfordert der Gewölbfuss an der lotrechten Wand *F*, welcher als gemeinsamer Anfänger für die Bogen- und Kappenstücke an den Ecken des Gewölbfeldes am besten stets aus Quadern hergestellt wird, selbst wenn die busige Kappe oberhalb *4b*, aus Backsteinen gewölbt werden soll. Grössere Binder wie *k, b,,* (Fig. 267), an welchen die Bogenlinien und Kappenflächen gleich mit angearbeitet werden, greifen möglichst tief in den Mauerkörper der Ecke *b* ein. Dasselbe gilt auch für Gewölbanfänger mit profilierten Rippen.

Soll oberhalb der Grenzlinie *4b*, der Wand *F* die Wölbung aus Backstein

Fig. 267.

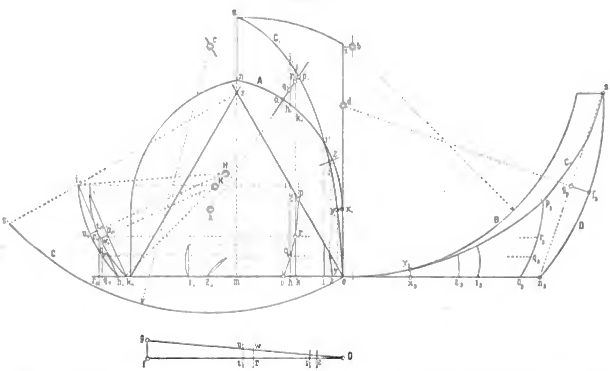


ausgeführt werden, ſo kann entweder der Fugenſchnitt nach Normalebenen zum Randbogen oder zum Gratbogen in Anwendung kommen. Da die Geſtalt der Gewölbfläche durch die Projektionen ihrer Leitlinien, der erzeugenden Kreisbogen und der in wagrechten Ebenen liegenden Schnittlinien vollſtändig beſtimmt iſt, ſo laſſen ſich auch die einzelnen, jenen Fugenſchnitten angepaſsten Wölbſchichten und ebenſo ihre Anſatzflächen an den Rippenkörpern auf zeichneriſchem Wege, wie im vorhergegangenen gezeigt iſt, leicht darſtellen. Dieſe Ausmittelungen ſind alsdann für die praktiſche Ausführung der Gewölbkappen weiter zu verwerten.

Das Beſtreben, die ſphäroidiſchen Laibungsflächen der geſtelzten Gewölbkappen einer reinen Kugelfläche möglichſt nahe zu bringen, führt dazu, die Erzeugenden als Kreisbogen anzunehmen, deren Pfeilverhältnis proportional wird dem Pfeilverhältnis des als Scheitellinie der geſtelzten Kappe vorgeſchriebenen Kreisbogens. Die Ebenen der einzelnen Erzeugenden ſind dabei parallel der lotrechten Ebene der Scheitellinie. 192. Beiſpiel 2.

In Fig. 268 ſei A die mit dem Halbmeſſer $a x_1$ um a beſchriebene, in $c x_1$ geſtelzte Anſatzlinie eines Randbogens, der Kreisbogen C mit dem Mittelpunkte c die nicht geſtelzte Anſatzlinie am Diagonal-

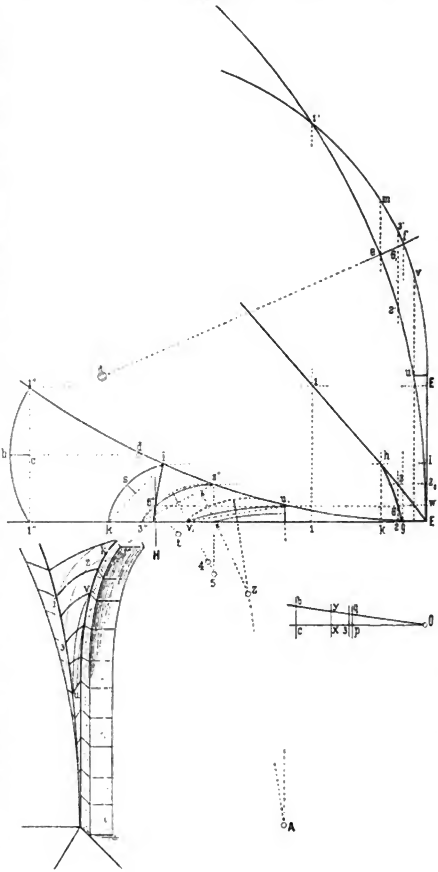
Fig. 268.



bogen, der um den Punkt b beſchriebene Schenkel B eines um die Strecke zb geſtelzten Spitzbogens die Anſatzlinie des Randbogens der Seite ez und D die in der Ebene ms liegende, als Kreisbogen mit dem in der Kämpferebene befindlichen Mittelpunkte d gewählte Scheitellinie der Kappe ems. Das Pfeilverhältnis dieſer Scheitellinie iſt $\frac{f_3 g_3}{m_3 s_3}$. Dasſelbe iſt im Plane O, worin $fg = f_3 g_3$ und $Of = m_3 s_3$ aufgetragen iſt, nochmals angegeben. Führt man parallel zur Ebene ms der Scheitellinie an beliebiger Stelle, z. B. ki, eine die buſige Kappe ems ſchneidende Ebene, ſo ergiebt dieſelbe auf der Anſatzlinie A den

Punkt $h_,$, auf der Projektion $C_,$ der Anfatzlinie C den Punkt $i_,$. Trägt man auf den in h und i zu ki errichteten Loten die Strecken $h h_{,,} = h h_,$ und $i i_{,,} = h i_,$ ab, fo läfst fich die Gerade $h_{,,} i_{,,}$ als Sehne eines Kreisbogens anfehen, welcher, mit dem von der Scheitellinie abhängigen Pfeilerverhältniffe behaftet, eine Erzeugende der fphäroidifchen Kappe bildet. Das Pfeilverhältnis foll proportional dem Pfeilverhältnis der Scheitellinie fein. Nimmt man $O t = h_{,,} i_{,,}$, fo ergiebt die in t parallel zu fg gezogene Linie tu die gefuchte Pfeilhöhe der erzeugenden Bogenlinie. Das in der Mitte $t_{,,}$ auf $h_{,,} i_{,,}$ errichtete Lot erhält die Länge $t_{,,} u_{,,} = tu$. Der durch die drei Punkte $h_, u_{,,} i_{,,}$ gelegte Kreisbogen mit dem Mittelpunkt H liefert die gewünfchte Erzeugende. In gleicher Weife find die Erzeugenden $k_{,,} l_{,,}$, $1_{,,}$ und $2_{,,}$ für die Ebenen kl, 1 und 2 aufgetragen. Für die Ebene 1 ift $1_,$ die gemeinfchaftliche lotrechte Projektion ihrer Schnitte mit den Anfatzlinien A und $C_,$. Die Sehne der zugehörigen erzeugenden Kreislinie $1_{,,}$ liegt wagrecht. Die obere Begrenzungslinie $x_, y_,$ der durch die Stelzung $ex_,$ entftehenden lotrechten Fläche $ex_, y_,$ mit der Grundrifsprojektion ey auf es bleibt eine unveränderliche wagrechte Gerade. Diefelbe bildet als Fufslinie der bufig geformten Kappenfläche eine Grenze für die Ausmittelung der erzeugenden Kreislinien innerhalb des Kappenteiles $x_, y_,$ bis $1_,$. Setzt man in diefem Teile das angegebene Verfahren für die Beftimmung der Erzeugenden fort, fo ergiebt fich, dafs diefelben im allgemeinen in einiger Entfernung über der Grenzlinie $x_, y_,$ mit einem gröfseren oder geringeren Bogenftücke über die Anfatzlinie des einen oder anderen Rippenkörpers hinwegfallen, alfo nunmehr als Erzeugende der Kappenfläche ohne weiteres nicht beibehalten werden können.

Fig. 269.



Um dennoch eine gefetzmäfsige Erzeugung und bildliche Darftellung der in Frage kommenden Fläche und damit die Grundlagen für eine fachgemäfse Ausführung ihres Gewölbkörpers zu erzielen, läfst man eine weitere Veränderung der bezeichneten Erzeugenden eintreten.

Ift in Fig. 269 $u, 1_{,,} 1_{,,}$ der Kappenteil, wofür nach und nach eine Veränderung der erzeugenden Kreisbogen erforderlich wird, fo kann diefe Veränderung z. B. für die lotrechte Ebene 23 in der folgenden Weife bewirkt werden. Die Ebene 23 liefert auf der Anfatzlinie $E 1_{,,}$ des Diagonalbogens den Schnitt $2_{,,}$, wofür $2_0 2_{,,} = 2 2$, aus der Zeichnung zu entnehmen ift, und auf der Anfatzlinie $E k 1_{,,}$ des Randbogens den Schnitt $3_{,,}$, wofür $E 3_{,,} = 23$, wird. Die Gerade $3_{,,} 2_{,,}$ ift die Sehne des erzeugenden Kreisbogens. Nimmt man im Hilfsplane Obc die Beftimmung der Pfeilhöhe diefes Bogens nach proportionaler Teilung wie früher vor, fo wird, wenn Oc gleich der Sehne $1_{,,} 1_{,,}$ und cb die Pfeilhöhe des Kreisbogens $1_{,,} b 1_{,,}$ ift, bei der Länge $O3$ gleich der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$, die in 3 parallel zu cb gezeichnete, von Oc und Ob begrenzte Gerade, die gefuchte Pfeilhöhe ergeben. Der mit diefer Pfeilhöhe behaftete, punktiert eingetragene Kreisbogen, deffen Mittelpunkt in 4 zu beftimmen war, fchneidet die Anfatzlinie des Diagonalbogens jedoch in unmittelbarer Nähe über $2_{,,}$, was für die Bildung der Kappenfläche unzuläffig ift. Für eine weitere Ausmittelung der Erzeugenden u, v, der lotrechten Ebene uv, wobei der Mittelpunkt z gefunden wurde, ift ein derartiges Durchfchneiden noch ftärker bemerkbar. In diefen Fällen find die Ordinaten $2_0 2_{,,}$, $w u$, der Endpunkte $2_{,,}$ der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ und u, der Sehne v, u, als lotrechte Tangenten für die zugehörigen, nunmehr einer Veränderung zu unterwerfenden erzeugenden Kreisbogen anzunehmen.

Hiernach wird 5 als Schnitt des im Halbierungspunkte der Sehne $3_{,,} 2_{,,}$ errichteten Lotes mit der durch $2_{,,}$ gezogenen Wagrechten der Mittelpunkt des einzuführenden erzeugenden, hier voll gezeichneten Kreisbogens $3_{,,} 2_{,,}$ und A auf der durch u, ziehenden wagrechten Linie der Mittelpunkt der verwendbaren Erzeugenden v, u,.

Für die Erzeugenden unterhalb des Kreisbogens v, u, find die zugehörigen Mittelpunkte auf der Geraden u, A zu beftimmen, fobald nur wieder die Schnitte lotrechter, parallel zu 23 geführter Ebenen mit der Anfatzlinie $E k 1_{,,}$ und der wagrechten Grenzlinie u, bezw. u, der lotrechten Stelzungswand ermittelt find.

Nach der gewonnenen Darftellung der Laibungsflächen der geftelzten bufigen Kappen bietet die Ausmittelung des Fugenfchnittes für ihre Einwölbung keine Schwierigkeiten mehr.

Soll z. B. eine Wölbung nach Normalebenen zum Randbogen vorgenommen werden, fo können die Lagerfugenkanten in ihren Projektionen, wie für eine Ebene ap, in Fig. 268 oder für af in Fig. 269, auf bekanntem, in der Zeichnung unmittelbar verfolgbarem Wege feftgelegt werden.

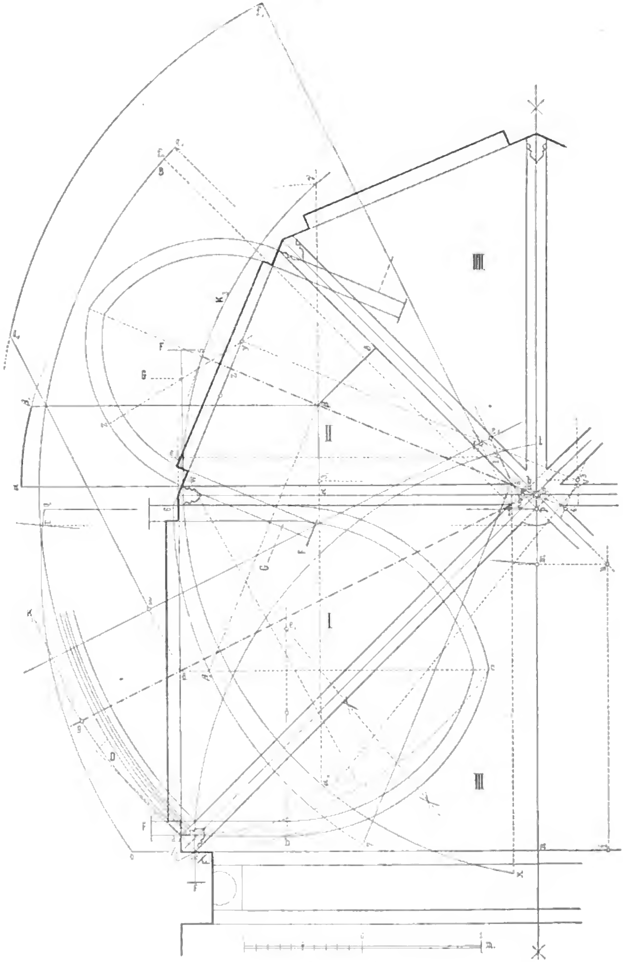
Für eine Vereinigung nicht geftelzter Kappen mit einer gröfseren Anzahl geftelzter Kappen unter der Bedingung einer möglichft ftarken Annäherung ihrer Laibungsflächen an reine Kugelflächen, wobei namentlich die Scheitellinien in innige Beziehung zu diefen Flächen zu bringen find, follen unter Benutzung von Fig. 270 die wichtigften Anhaltspunkte gegeben werden. 193. Beifpiel 3.

Das im Grundrifs zur Hälfte dargeftellte Gewölbe befteht aus 7 durch Rippen gefchiedene Gewölbkappen von dreieckiger Grundform mit gemeinfchaftlichem, über s liegendem Scheitel. Aus befonderen architektonifchen Gründen müffen die Anfatzlinien an den Randbogen der Kappen mit der Anordnung *I*, *II*, *IV* um eine Höhe wG geftelzt werden, während die Anfatzlinie am Randbogen (Gurtbogen) der Seite ki für die Kappe *III* nicht geftelzt werden darf. Ebenfo erhalten die Anfatzlinien an den Diagonalen, ausgenommen jedoch an den Rippen über st und su, diefelbe Stelzung wG. Die Fufspunkte der fämtlichen Anfatzlinien follen aber in einer und derfelben wagrechten Kämpferebene F angenommen werden, welche um eine Höhe aF unter der eigentlichen Grundebene G liegt. Diefe Grundebene enthält die Mittelpunkte der nicht geftelzten Anfatzlinien für die Rippen st, su und für den Gurtbogen ki.

Die Ebene F bedingt demnach nur eine gleichmäfsige Ueberhöhung, fowohl für die geftelzten, als auch für die nicht geftelzten Anfatzlinien der gefamten Gewölbkappen.

Für die Geftaltung der Laibungsflächen diefer Kappen ift die Anfatzlinie über af an der Diagonalrippe st als grundlegend, und zwar als der um b mit dem Halbmeffer ba befchriebene Viertelkreis B gewählt.

Fig. 270.

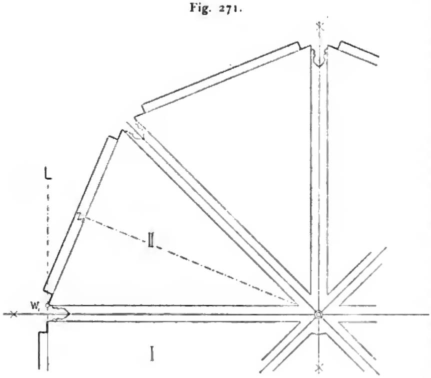


Sollte die Kappe I bei der von vornherein gegebenen Höhe cd einer an der Seite ag zu bildenden Anſatzlinie ohne Rückſicht auf ihre Stelzung eine Kugelfläche als Laibung erhalten, ſo würde ein Spitzbogen, wovon ein Schenkel ac mit dem Mittelpunkte e punktiert eingetragen iſt, die erforderliche Anſatzlinie werden können. Alsdann iſt der Mittelpunkt der Kugelfläche der Kappenhälfte afd der Schnitt 1 der in b auf ab und in e auf ae errichteten Lote. Die Punkte a, b, e und 1 liegen in der Grundebene G. Der um 1 mit dem Halbmeſſer $1a$ beſchriebene Kreisbogen ag iſt ein Stück des gröſsten Kreiſes dieſer Kugelfläche. Der Schnitt einer in der Richtung fd geführten lotrechten Ebene liefert nach Beſtimmung des Punktes 2 den Kreisbogen der Scheitellinie der Kappe I. Dieſer Kreisbogen iſt beſonders als $d_{,,}f_{,,}$ ausgetragen und mit dem Halbmeſſer $2_{,}k_{,} = 2g$ um $2_{,}$ beſchrieben. Als Probe der Richtigkeit muſs bekanntlich $f_{,}f_{,,} = ff_{,,,}$ und $d_{,}d_{,,} = dc$ erhalten werden.

Die Rückſicht auf das Einführen eines ſtumpferen Spitzbogens als Anſatzlinie am Randbogen der Seite ag und die gebotene Anordnung einer Stelzung verlangen jedoch die Umformung des vorläufig als Hilfslinie benutzten, nicht geſtelzten Spitzbogens ac. Dieſes neue Geſtalten der Anſatzlinie kann ohne Veränderung der bereits ermittelten Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ vorgenommen werden. Nimmt man das in a auf ag errichtete Lot ah gleich der Stelzung wG, ermittelt man auf der durch h gelegten wagrechten Linie he, den Mittelpunkt e, des durch h und c gehenden Kreisbogens hc, ſo erhält man den geſtelzten ſtumpferen Spitzbogen $ahcg$ als Anſatzlinie am Randbogen der Seite ag. Die Anſatzlinie am Diagonalbogen fg erfährt eine Stelzung wG; ihre Form wird aber von der Geſtalt der Anſatzlinie der Kappe II an demſelben Diagonalbogen fg abhängig, und zwar ſollte ſie in erſter Linie in Rückſicht auf eine lotrechte Ebene $8w$ mit den in dieſe Ebene projizierten, als Kreisbogen zu beſchreibenden Begrenzungslinien der Rippenprofile des Diagonalbogens konzentriſch ſein. Die Punkte f und 8, auch die Punkte w und g, haben paarweiſe gleiche Höhenlage über der Grundebene G.

Liegt nun infolge eines Einſchneidens der Seite wz in die Fuſsfläche des Rippenprofils des Diagonalbogens der Punkt w mit dem Punkte g nicht in einer und derſelben lotrechten Ebene, wie hier, um dabei auf einen gewiſſen Nachteil hinweiſen zu können, angenommen iſt, ſo kann offenbar die von f nach g zu führende, etwa als Kreisbogen zu beſtimmende Anſatzlinie der Kappe I am Diagonalbogen nicht mehr konzentriſch mit der Anſatzlinie $8w$ verlaufen. Vielmehr entſtände an der lotrechten Profilebene der Seite gf des Diagonalbogens eine ſichelförmige Fläche, welche bei einer unteren Breite gleich dem Abſtande der beiden lotrechten Ebenen wF und ae zuletzt bei f in einer Spitze endigt. Kommen auch derartige Anſatzbildungen vor, ſo laſſen ſich dieſelben doch meiſtens vermeiden, wenn vorweg eine regelmäſsige Geſtaltung der Fuſsfläche des Rippenkörpers $8fwg$, worauf ſchon in Art. 174 (S. 287) hingewieſen iſt, wie hier z. B. durch ein Zuſammenſchieben der lotrechten Ebene ae mit der ihr parallelen Ebene wF herbeigeführt wird. Verlegt man alſo den Schnitt w von wz mit ae nach Fig. 271 derart, daſs durch ein geringfügiges Verrücken der Linie wz nunmehr der Punkt w nach $w_{,}$ in die Linie L fällt, welche mit der Geraden ae in Fig. 270 übereinſtimmt, ſo iſt eine regelmäſsig geſtaltete Fuſsfläche des profilierten Rippenkörpers zu ſchaffen. Grundriſſe und Deckenbildung gehen in Rückſicht auf konſtruktive Anordnungen alsdann Hand in Hand.

Fig. 271.



Sind die Anſatzlinien der Kappe I feſtgelegt, ſo wird die Geſtaltung ihrer Laibungsfläche unter

Beibehalten der Scheitellinie $d_{,,}f_{,,}$ und der lotrechten Stelzfläche D am Diagonalbogen nach dem in Art. 192 (S. 313) Gefagten bewirkt. Die Laibungsfläche ift fphäroidifch; fie nähert fich der reinen Kugelfläche jedoch in bemerkenswerter Weife.

Die Gewölbflächen der Kappen *II*, *IV* können aus reinen Kugelflächen zufammengefetzt werden. Die Fufspunkte fämtlicher Anfatzlinien an den Randbogen und Diagonalbogen liegen vermöge ihrer gleichmäfsigen Stelzung in einer wagrechten Ebene, welche von der Grundebene G um die Höhe Gw entfernt i' Die Höhe δx der Anfatzlinie wx am Diagonalbogen ift gleich der um die Strecke Gw verkleinerten Höhe $ff_{,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,,}$ weniger Gw. Beftimmt man den Mittelpunkt v auf der Geraden wv für den Kreisbogen wx, fo ergiebt derfelbe die Anfatzlinie über $w\delta$, welche, wie vorhin bemerkt, auch die Anfatzlinie der Kappe *I* am Diagonalbogen unmittelbar beeinflufst. Ift die Anfatzlinie der Kappe *II* am Randbogen oberhalb w als ftumpfer Spitzbogen gewählt, deffen Schenkel mit dem Halbmeffer yw befchrieben find, fo wird $\mathfrak{z}$ der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenftück δwz, K_3 ihr gröfster Kreis und folglich der mit dem Halbmeffer 45 um 4 befchriebene Kreisbogen $g7$ die Scheitellinie über δz. Die Fläche der zweiten Kappenhälfte ift nach den gleichen Grundlagen zu behandeln. Der Schnitt einer nach $\alpha\beta$ rechtwinkelig zu $w\delta$ ftehenden lotrechten Ebene mit der Kappenfläche $\delta w7$ ift der um $\mathfrak{z}_1$ mit dem Halbmeffer $\mathfrak{z}_1\gamma$ befchriebene Kreisbogen $\alpha_{,}\beta_{,}$.

Als Probe für die richtige Höhenlage der Punkte $\alpha_{,}$ und $\beta_{,}$ ift zu bemerken, dafs $\alpha\alpha_{,} = \alpha\alpha_{,,}$, und $\beta\beta_{,} = \beta\beta_{,,}$ fein mufs. Diefelbe Schnittlinie $\alpha_{,}\beta_{,}$ würde fich auch für eine lotrechte Ebene mit der Grundrifsfpur $\beta\delta$ ergeben.

Bei vollftändiger Regelmäfsigkeit der Fufsflächen der Diagonalrippen (Fig. 271) tritt ein konzentrifcher Lauf der Anfatzlinien der Kappen mit den Grenzlinien der Profile diefer Rippen ein. Die Geftaltung der Gewölbfläche *IV* entfpricht der bei der Kappe *II* gegebenen Entwickelung.

Endlich ift auch die Laibungsfläche der Kappe *III* nach reinen Kugelflächen zu bilden. Die Anfatzlinie über ku der Seite ki am Gurtbogen fei der um i mit dem Halbmeffer ik befchriebene Schenkel kl eines gleichfalls ftumpf genommenen Spitzbogens. Die Anfatzlinie über kp am Diagonalbogen entfpricht dem Kreisbogen B. Der gemeinfchaftliche Fufspunkt k der beiden in Frage kommenden Anfatzlinien, welche für die Kappe *III* nicht geftelzt werden follen, liegt in der Grundebene G.

Nach bekanntem Verfahren wird n der Mittelpunkt der Kugelfläche über knp und m der Mittelpunkt der Scheitellinie oq, für welche $no = nl$ und $pq = bq$, ift. Von diefer Scheitellinie fällt durch Einfügen eines gröfseren Schlufsfteines bei s, deffen äufsere Randlinie in einer durch $f_{,,,}$ bezw. $f_{,,,}$ geführten wagrechten Ebene liegt, das Stück rq fort, fo dafs wiederum die Höhe des Punktes r genau gleich der Höhe $ff_{,,,}$, bezw. $f_{,}f_{,,}$ über der Grundebene wird.

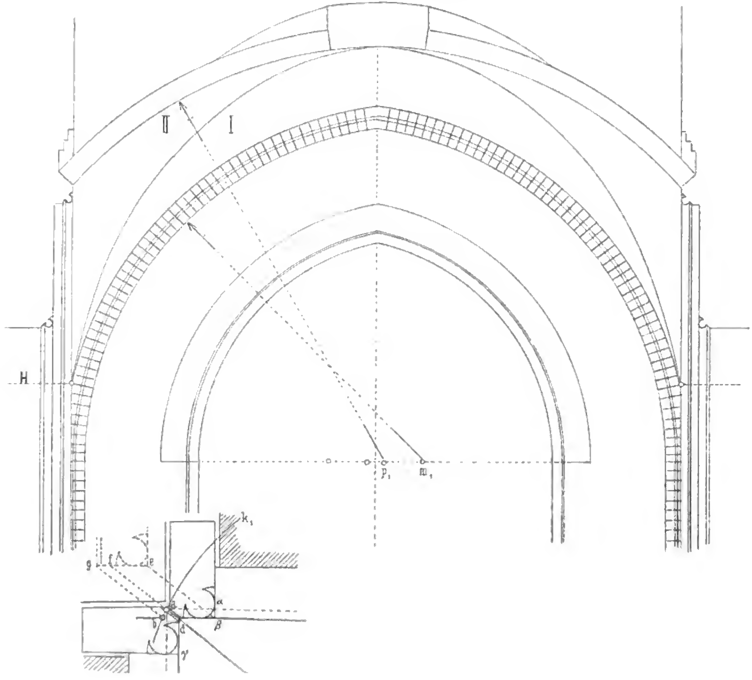
194. Befeitigen der Stelzungsflächen.

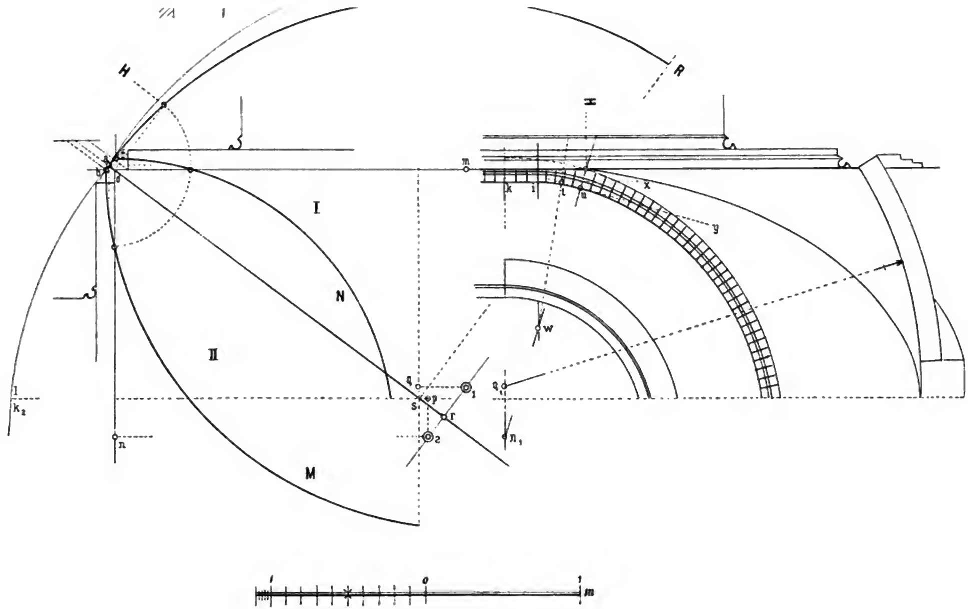
Zur Vermeidung der lotrechten Wand- oder Stelzungsfläche, welche infolge der Stelzung einer Gewölbrippe an dem dicht benachbarten, nicht geftelzten Rippenkörper entfteht, könnte füglich ftatt des geftelzten Rippenbogens und der damit verbundenen Anfatzlinie der Kappe ein in Art. 160 (S. 268) gekennzeichneter Knickbogen oder ein in geeigneter Weife aus beliebig vielen Mittelpunkten konftruierter Korbbogen in Anwendung kommen. Bei fchmalen rechteckigen Gewölbfeldern, fowie auch bei Gewölben, deren Scheitel bedeutend höher liegen, als die Scheitel der fonft zu ftelzenden Bogen, liefert diefes Auskunftsmittel jedoch, in Rückficht auf eine mit der ganzen Gewölbbildung in vollem Einklange ftehende Form, meiftens kein befonders befriedigendes Ergebnis.

Weit beffer kann in der Regel das Befeitigen der Stelzungsfläche durch das Zurückfetzen der Stelzungswand in die Widerlags- oder Pfeilerkörper des Gewölbes bewirkt werden, felbft wenn damit eine geringfügige Aenderung eines kleinen Teiles am Fufse der fonft zu ftelzenden Bogenlinien veranlafst wird. Aufserdem kann dabei die Möglichkeit der Durchbildung der Kappenflächen als reine Kugelflächen aufrecht erhalten werden.

Die Grundlagen für diefe Geftaltung find in Fig. 272 enthalten. Würde bei geftelzten Randbogen M, bezw. N der Seiten dm und dn eines Gewölbfeldes die Höhe der Stelzungswand über der Kämpferebene gleich dH werden, fo würde beim Einführen diefer Wand der Diagonalbogen R feinen Fufspunkt in d bekommen,

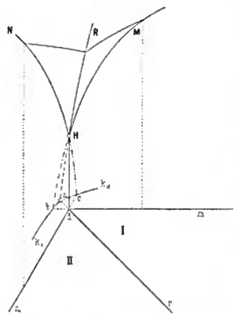
Zu S. 319.





Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über rechteckigem Gewölbefelde.

Fig. 272.



und ein in der Höhe *d H* liegender Punkt dieſes Bogens würde in der Richtung *d r* um eine wagrechte Strecke *a d* vorgeſchoben ſein.

Legt man aber den Fuſspunkt des Bogens *R* um dieſelbe Strecke von *d* nach *a* zurück und ſetzt man gleichzeitig den Punkt *a* als Fuſspunkt für zwei andere als ideelle Randbogen anzuſehende Kreisbogen feſt, ſo wird die Stelzungswand in den Widerlagskörper gerückt und damit beſeitigt.

Beſchreibt man alsdann *R* und *M* als Kreiſe einer Kugel mit dem durch *a* gehenden gröſsten Kreiſe $k_,$ für die Kappe *I* und ferner *N* als Kreis einer Kugel mit dem ebenfalls durch *a* zu führenden gröſsten Kreiſe $k_{,,}$ für die Kappe *II*, ſo wachſen die Bogen *R*, *M* und *N* aus dem gemeinſchaftlichen Punkte *H* hervor. Sie bilden die Anſatzlinien der nach Kugelflächen zu geſtaltenden Kappen. Dieſen Grundlagen entſprechend iſt auf nebenſtehender Tafel die Zeichnung von einem Kreuzgewölbe ohne Stelzungswand über einem rechteckigen Gewölbfelde gegeben.

Die profilierten Randbogen der Seiten *d m* und *d n* ſind in ihren Begrenzungslinien weſentlich konzentriſch mit den Bogenlinien der oberen Abſchlüſſe der Lichtöffnungen in den Seitenmauern zu halten.

R iſt der in *a* auf der Kämpferebene beginnende, als Kreisbogen um *r* mit *r a* beſchriebene Diagonalbogen. Punkt $m_,$ und demnach auch *m* iſt der gegebene Mittelpunkt des Fenſterbogens der Seite *d m*. Da $m_{,}$, bezw. *m* auch Mittelpunkt des Randbogens und damit zugleich die Anſatzlinie über *d m* für die Kappe *I* ſein ſoll, ſo ergiebt ſich im Schnitte *1* des in *m* auf *d m* errichteten Lotes mit dem in *r* auf *a r* gezogenen Lote der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück *I*. Der um *1* mit dem Halbmeſſer *1 a* beſchriebene Kreisbogen $k_,$ bezeichnet ihren gröſsten Kreis. Die lotrechte Ebene *m d* ſchneidet gehörig erweitert den Kreis $k_,$ in $b_,$ und folglich wird der um *m* mit *m b* geſchlagene Kreis *M* die Anſatzlinie der Kappe *I* über der Seite *d m*; ſie vereinigt ſich mit dem Diagonalbogen *R* an der innern Mauerecke oder bei *d* in einer Höhe *d H* über der Kämpferebene. Unter Benutzung der Punkte $n_,$, bezw. *n* und *r* ergiebt ſich in *2* der Mittelpunkt der Kugelfläche für das Kappenſtück *II* mit dem Halbmeſſer *2 a* und dem gröſsten Kreiſe $k_{,,}$, ſowie in dem um *n* mit dem Halbmeſſer *n c* beſchriebenen Kreiſe *N* die geſuchte, ebenfalls in der Höhe *d H* auslaufende Anſatzlinie der Kappe *II* für die Seite *d n*.

Die Scheitellinien der Kappen *I* und *II* ſind die um *q*, mit dem Halbmeſſer *q k* und um *p*, mit dem Halbmeſſer *p l* beſchriebenen Kreisbogen der zugehörigen Kugelflächen.

Zur Erzielung des gleichartigen Emporſteigens der profilierten Randbogen iſt der Grundriſs der Anſätze dieſer Bogen zweckmäſsig unter Benutzung des gröſsten Kugelkreiſes $k_,$ und des Punktes *b* für die am weiteſten geſpannte Kappe *I* in der Weiſe zu entwickeln, daſs, wie im vergröſserten Plane bei *g e* gezeigt iſt, unter der hier genommenen Anordnung gleicher Profile, die Breite der Fuſsflächen $d\beta = d\gamma$ wird. Dieſe Annahme einer gleich groſsen Breite kann allerdings zur Folge haben, daſs ein mit dem Halbmeſſer $n_, k$ um $n_,$ geſchlagener Kreisbogen, wobei der Punkt *k* dem Punkte γ in der Kämpferebene entſpricht, der Anſatzlinie *N* im Aufriſs an der ſchmalen Rechteckſeite nicht mehr konzentriſch bleibt. Solches iſt hier der Fall. Eine um $n_,$ mit der Anſatzlinie *N* konzentriſche innere Begrenzungslinie des Randbogens fällt über *k* hinaus. Da aber hierdurch eine nicht beabſichtigte, auch nicht günſtige Verminderung der Breite $d\gamma$ der Fuſsfläche des Randbogens eintreten würde, ſo muſs eine Umgeſtaltung der inneren Begrenzungslinie für die Strecke *k u* ſtattfinden. Für die Fuſslinie *k i t u* geht die Fugenrichtung am Randbogen in der Höhe *H* durch *u* nach n_1. Vom Scheitel dieſes Bogens bis *u* verläuft die Bogenlinie konzentriſch mit ſämtlichen übrigen Bogenlinien. Die Lotrechte *k x* ſchneidet die in *u* gezogene

Tangente *y* im Punkte *t*. Nimmt man $tu = ti$ und zieht *iw* parallel zu ku_1, fo wird *w* der Mittelpunkt eines kurzen Kreisbogens *ui*, und die Lotrechte *ik* ergiebt eine mäfsige, nicht ungünftig wirkende Ueberhöhung der nunmehr feftgelegten inneren Begrenzungslinie, welcher fich die übrigen Randlinien gleichlaufend anzufchliefsen haben. Durch diefe an fich geringfügige Umformung werden für die Gewölbbildung keinerlei Nachteile verurfacht.

8) Stärke der gotifchen Kreuzgewölbe und ihrer Widerlager.

195. Ueberficht. Die Gewölbkappen der gotifchen Kreuzgewölbe erhalten in den meiften Fällen eine Bufung. Ihre Laibungsflächen gehören reinen Kugelflächen oder kugelförmigen Flächen an; ihre Wölbung entfpricht im wefentlichen einem freihändigen Zufammenfügen der Wölbfteine in der Weife, dafs Beftandteile eines Kugelgewölbes entftehen, welche fich gegen die Rippen als Träger des ganzen Gewölbes legen. Letztere liefern das gefamte im Gewölbe wachgerufene Syftem von Kräften an die Gewölbftützen ab. Die zur Ermittelung der Stärke der gotifchen Kreuzgewölbe zu führenden Unterfuchungen umfaffen vorwiegend die Prüfungen der Stabilität:

α) der Gewölbkappen,

β) der Gewölbrippen und

γ) der Gewölbwiderlager oder Gewölbftützen.

Bei dem zuletzt genannten Punkte find noch befonders die bei den gotifchen Kreuzgewölben mannigfach in Anwendung kommenden Strebepfeiler und Strebe- oder Schwibbogen zu berückfichtigen.

α) Stabilität der Gewölbkappen.

196. Stabilität der Gewölbkappen. Die bufigen Kappen der gotifchen Kreuzgewölbe find, wie auch die Art ihrer Einwölbung befchaffen fein mag, im wefentlichen als Beftandteile eines Kugel-, bezw. eines Kuppelgewölbes anzufehen. Ihre ftatifche Unterfuchung und die damit verknüpfte Beftimmung ihrer Stärke hat die Lehre vom Gleichgewichtszuftande diefer befonderen Gewölbe zur Richtfchnur zu nehmen. Die Theorie der Kuppelgewölbe ift in Teil I, Band 1, zweite Hälfte (Art. 489 u. ff., S. 461 u. ff.[26]) diefes »Handbuches« gegeben.

Die hierin enthaltenen Grundlagen follen im folgenden bei den ftatifchen Unterfuchungen der in Frage kommenden Gewölbkappen mit berückfichtigt werden.

Ein Kuppelgewölbe befteht im allgemeinen aus konzentrifchen Wölbfchichten oder Kränzen, d. h. aus gewölbten Ringfchichten, welche nach und nach für fich gefchloffen und übereinander gelagert werden. Ihre Lagerflächen find Kegelflächen mit einer gemeinfchaftlichen Spitze im Mittelpunkte der zugehörigen Kugel- oder Kuppelfläche; ihre Stofsfugenflächen liegen in lotrechten Meridianebenen der Kuppel. Die gemeinfchaftliche Schnittlinie diefer Schar von Meridianebenen ift die lotrechte Kuppelachfe. Ein von zwei benachbarten Meridianfchnitten begrenztes Stück des Kuppelgewölbes ergiebt einen Meridianftreifen.

Diefem befonderen Aufbau und Zerlegen der Kuppelgewölbe, wodurch fich diefelben wefentlich von der Herrichtung der cylindrifchen Gewölbe unterfcheiden, entfprechend, mufs bei der ftatifchen Unterfuchung der Kuppelgewölbe der Gleichgewichtszuftand von zwei Kräftegruppen geprüft werden. Diefe Kräftegruppen umfaffen erftens das auf die ebenen Stofsflächen der Wölbkranze einwirkende Kräftefyftem und zweitens die auf die kegelförmigen Lagerflächen diefer Kränze gelangenden Kräfte.

[26]) 2. Aufl.: Art. 281 ff., S. 269 ff.; 3. Aufl.: Art. 287 ff., S. 308 ff.

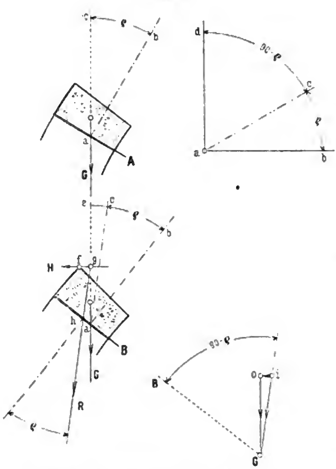
Da Kuppelgewölbe auch am Scheitel offen bleiben können, alfo ein Meridianftreifen oben nicht bis zu der als lotrechte Gerade vorhandenen Scheitellinie zu reichen braucht, fo ift in erfter Linie die Unterfuchung des Gleichgewichtszuftandes eines Wölbkranzes von mafsgebender Bedeutung.

Hierbei kommt nun der Neigungswinkel der Erzeugenden der Lagerfläche des Kranzes und aufserdem, in Bezug auf die unteren Lagerkanten desfelben, die Lage der Lotrechten, worin das Gewicht eines Kranzfteines, einfchliefslich feiner etwa vorhandenen Belaftung, wirkt, befonders in Betracht; denn fein Gleichgewichtszuftand wird beeinflufst durch jenen Neigungswinkel in Rückficht auf das Gleiten auf der Lagerfläche, durch die bezeichnete Lotrechte im Hinblick auf eine Drehung um eine Lagerkante des Kranzfteines.

Soll im vollftändig gefchloffenen Wölbkranze Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehung herrfchen, fo werden durch die im Kranze lebenden Kräfte in den Stofsfugen Preffungen geweckt, welche, unter der Vorausfetzung eines geeigneten Wölbmaterials und einer genügenden Gewölbftärke, fähig fein müffen, das Beftreben des Abgleitens oder des Drehens der Kranzfteine zu verhindern. Sind diefe Preffungen für jeden Wölbkranz bekannt geworden und fomit für jede Wölbfchicht eines Meridianftreifens gefunden, fo läfst fich diefes Syftem von Kräften, in entfprechende Verbindung gebracht, zur Stabilitätsunterfuchung des ganzen Meridianftreifens benutzen.

Um die in den Stofsflächen der Kranzfteine entftehenden Preffungen, wobei zunächft auf die Elaftizität der Wölbfteine und auf die ftärkere oder geringere Bindefähigkeit des Mörtels keine Rückficht genommen werden foll, zu ermitteln, können die folgenden Fälle in Behandlung treten. 197. Preffungen der Stofsflächen: Erfter Fall.

Fig. 273.



α) In Fig. 273 ift $A\,a$ die Richtung der Erzeugenden einer Lagerfugenfläche in der Kräfteebene. Ihre Neigung zur Wagrechten fei gleich dem Reibungswinkel $c\,a\,b = \sphericalangle \rho$ des Wölbmaterials. Die Richtungslinie G des im Schwerpunkte des Kranzfteines angreifenden Gewichtes treffe die Erzeugende A im Punkte a der Lagerfläche des Steines. Das in a auf $A\,a$ errichtete Lot $a\,b$ fchliefse mit der Kraftrichtung G den Winkel $c\,a\,b = \sphericalangle \rho$ ein. In diefem Falle ift nach der Lehre von der fchiefen Ebene die Grenzlage für die Erzeugende $A\,a$ erreicht, wobei eben noch das Gleiten des Steines verhindert wird. Da aufserdem, vermöge der Lage des Punktes a der Kraftrichtung G innerhalb der Lagerfläche des Kranzfteines, durch die Kraft G

keine Drehung dieses Steines um eine seiner Kanten eintreten kann, so werden im System eines derartig gelagerten und durch Gewichte beanspruchten Kranzes keinerlei Pressungen in den Stofsfugenflächen erzeugt. Dasselbe gilt, selbst wenn die Kraftrichtung G durch eine Kante geht.

Schliefst die Erzeugende $A a$ mit der Wagrechten einen kleineren Winkel als den Reibungswinkel ρ ein, bleibt a innerhalb des Gebietes der Lagerfläche, so können ebenfalls in den Stofsflächen des Kranzes keine Pressungen entstehen.

198. Zweiter Fall. b) Bleibt der Angriffspunkt a der Kraftrichtung G in der Lagerfläche, wird aber der Neigungswinkel der Erzeugenden $B a$ zur Wagrechten gröfser als der Reibungswinkel ρ, so hat der Kranzstein kein Bestreben, sich um eine Lagerkante zu drehen; wohl aber ist sein Ruhezustand in Bezug auf das Herabgleiten gestört. Um dieses Abwärtsgleiten zu verhindern, müssen im Kranzkörper Kräfte thätig werden, welche als Pressungen in den seitlichen Stofsflächen mit solcher Gröfse sich einzustellen haben, dafs die aus diesen Seitenkräften entstehende Mittelkraft den Gleichgewichtszustand wieder herzustellen vermag.

Hinsichtlich der Gröfse dieser Mittelkraft und danach auch der Gröfse der Pressungen in den Stofsflächen ist zu bemerken, dafs dieselbe ein solches Mafs anzunehmen hat, als zur Herstellung des Gleichgewichtes eben notwendig ist, dafs also ein Mehraufwand in diesem Kraftmafse nicht berechtigt ist. Dieses eben notwendige Kraftmafs drückt mithin einen Grenzwert für die in Rechnung zu ziehende Mittelkraft aus; dieser Grenzwert hat demnach in jedem besonderen Falle einen in Anwendung zu bringenden möglich kleinsten Wert, welcher ebensowohl frei von einem Kraftmangel, als auch frei von einem Kraftüberschufs aufzutreten hat.

Unter Bezugnahme auf Fig. 273 nimmt die erwähnte Mittelkraft H der Pressungen ihren kleinsten Wert an, wenn dieselbe durch den höchsten Punkt f der oberen Lagerkante des Kranzsteines geht, wagrecht gerichtet ist und in der lotrechten Halbierungsebene des Meridianstreifens bleibt, welchem der zur Mittelebene symmetrisch geformte Stein zugewiesen ist. Diese Mittelebene enthält auch das Gewicht G des Steines samt seiner etwaigen Belastung, ist also eine Kräfteebene.

Eine zweite Kräfteebene, wagrecht durch H geführt, enthält die symmetrisch zu H gelegenen Pressungen der Stofsflächen als ihre Seitenkräfte. Diese besitzen gleiche Gröfse und sind senkrecht zu den Seitenebenen des Meridianstreifens gerichtet.

Das in a auf $B a$ errichtete Lot $a b$ schliefst mit der Richtung G einen Winkel $b a e$ ein, welcher gröfser ist als der Reibungswinkel $b a c = \rho$. Damit das Abgleiten des Kranzes, dem der Stein angehört, nicht eintritt, müssen die vorhin bezeichneten Seitenpressungen mit der möglich kleinsten Mittelkraft H thätig werden.

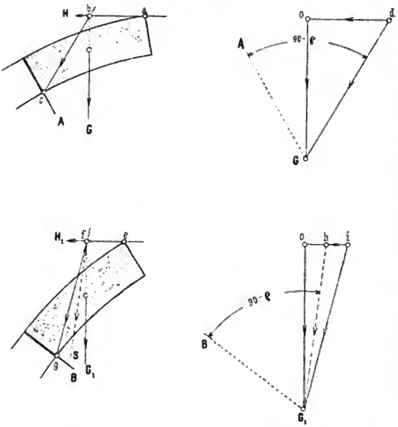
Um diese Kraft H zu bestimmen, mufs die Resultierende R aus dem Gewichte G und der noch unbekannten Kraft H eine solche Lage annehmen, dafs sie die Erzeugende $B a$ in einem Punkte h innerhalb der Lagerfläche trifft und mit dem in h auf $B a$ errichteten Lote einen Winkel einschliefst, welcher die Gröfse des Reibungswinkels nicht überschreitet. Würde die Lage dieser Resultierenden so festgesetzt, dafs dieselbe mit dem Lote auf $B a$ einen Winkel einschliefsen sollte, welcher kleiner als der Reibungswinkel ausfiele, so würde H wachsen, was unzulässig ist, da H nur den möglich kleinsten Wert zu besitzen braucht.

Bringt man daher die Richtung G mit der wagrechten Strecke H in g zum Schnitte, zieht man durch g den Strahl R parallel zum Schenkel $a c$ des Reibungs-

winkels ρ, deſſen zweiter Schenkel $a\,b$ auf $B\,a$ lotrecht genommen wurde, ſo iſt die Lage der Mittelkraft aus G und H beſtimmt. Die Gröſse von R und von H iſt mit Hilfe des Kräfteplanes $o\,G\,i$ leicht zu finden. In demſelben ſtellt $o\,G$ die Gröſse des Gewichtes vom Kranzſteine dar; $G\,i$ iſt parallel zu R und $o\,i$ parallel zu H gezogen, ſo daſs nunmehr $i\,G$ gleich der Gröſse von R, $i\,o$ gleich der Kraft H iſt.

Um das Zeichnen der Schenkel des Reibungswinkels ρ am Wölbſteine zu vermeiden, hat man aus leicht erſichtlichen Gründen nur nötig, im Kräfteplane ſelbſt den Strahl $G\,B$ parallel zur Erzeugenden $B\,a$ zu ziehen und an $G\,B$ den Winkel $90 - \rho$ anzutragen. Der Schenkel $G\,i$ dieſes Winkels muſs alsdann ebenfalls parallel zu $a\,c$ ſein.

Fig. 274.



c) Schneidet die Kraftrichtung G die Lagerfläche des Kranzſteines nicht, iſt der Neigungswinkel der Erzeugenden $A\,c$ in Fig. 274 zur Wagrechten gröſser als der Reibungswinkel ρ; ſo hat der Stein das Beſtreben, ſich um die Lagerkante c zu drehen und auſserdem auf der Lagerfläche zu gleiten. 199 Dritter Fall.

Die Mittelkraft H der in den Stoſsfugen des Kranzes zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes wachgerufenen Preſſungen muſs alſo denjenigen möglichen und kleinſten Wert annehmen, welcher ausreicht, jene Drehung und jenes Gleiten zu verhindern.

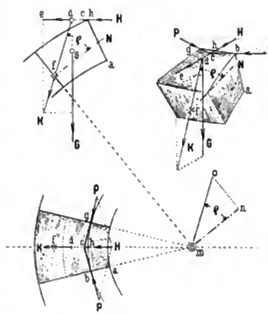
Die Reſultierende aus G und der durch den höchſten Punkt a der oberen Lagerkante des Steines gerichteten Kraft H muſs alſo zunächſt eine ſolche Lage $b\,c$ annehmen, daſs ſie durch den Drehpunkt c der unteren vorderen Lagerkante geht und ſodann mit der Senkrechten auf $A\,c$ einen Winkel einſchlieſsen, welcher kleiner oder mindeſtens gleich dem Reibungswinkel ρ, aber niemals gröſser als ρ wird.

Für die Erzeugende $A\,c$ ergiebt ſich nach dem Kräfteplane, daſs die Mittelkraft $d\,G$ in der Richtung $b\,c$ auch mit der Senkrechten auf $a\,c$ gerade noch einen Winkel gleich dem Reibungswinkel ρ einſchlieſst, ſo daſs die Strecke $d\,o$ die Gröſse der Mittelkraft H ergiebt, welche ausreicht, um das Gleichgewicht des Kranzſteines aufrecht zu erhalten.

Für eine Erzeugende $B\,g$ dagegen würde, in Rückſicht auf Gleiten allein, eine Mittelkraft S aus G_1 und der im Kräfteplan hierfür gefundenen, in der Wagrechten $e\,f$ wirkenden Kraft $h\,o$ nicht durch den Drehpunkt g der unteren Lagerkante gehen, alſo der Stein nach wie vor eine Drehung um dieſe Kante vollziehen. Hiernach genügt die Kraft $h\,o$ noch nicht zur Herſtellung des Gleichgewichtszuſtandes. Die

Preſſungen im Kranze müſſen wachſen, und zwar in der Weiſe, daſs ihre Mittelkraft $H_{,}$ für einen Stein des zugehörigen Meridianſtreifens eine Gröſse erhält, welche die Reſultierende aus $G_{,}$ und dieſer Kraft $H_{,}$ ſo weit zurücktreibt, bis dieſe neue Reſultierende durch den Drehpunkt g läuft. Zieht man alſo durch den Schnitt f der Kraft $G_{,}$ und der Wagrechten ef den Strahl fg, ſo iſt hiermit die Lage der bezeichneten Reſultierenden gefunden. Zeichnet man im Kräfteplane $G_{,} i$ parallel zu fg, ſo ergiebt ſich in $i G_{,}$ ihre Gröſse und zugleich in io die Gröſse der für das Gleichgewicht notwendigen Mittelkraft $H_{,}$. Da die Reſultierende $i G_{,}$ in ihrer Richtung fg mit der Normalen einen Winkel einſchlieſst, welcher um $\sphericalangle\, i G_{,} h$ kleiner wird als der Reibungswinkel ρ, ſo iſt bei dem Herrſchen der Kraft $H_{,} = io$ auch Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten vorhanden.

Fig. 275.



Nach dieſen Erörterungen iſt für einen beliebig genommenen Kranzſtein eines Meridianſtreifens mgb in Fig. 275 das bei der Unterſuchung des Gleichgewichtes in Frage kommende Kräfteſyſtem zuſammengetragen.

In der Richtung he wirkt die geſuchte Mittelkraft H der in den Seitenflächen mg und mb in g und b entſtehenden Preſſungen P, P. Setzt man das Gewicht G in d mit der unbekannten, aber in he liegenden Kraft H zuſammen, errichtet man auf der Erzeugenden mf der Lagerfläche des Steines das Lot mn und trägt man den Winkel nmo als Reibungswinkel ρ an; ſo muſs die Reſultierende K aus G und H in Rückſicht auf Gleichgewicht gegen Gleiten parallel mit om gerichtet ſein. Der Strahl df entſpricht dieſer Lage. Da G und die Richtung der Reſultierenden aus G und H bekannt ſind, ſo entſpricht die Gröſse de der ſomit gefundenen Kraft H und die Gröſse dK der Reſultierenden K. Letztere trifft die Lagerfläche des Steines; folglich genügt die Kraft $de = H$ auch für das Gleichgewicht gegen Drehen.

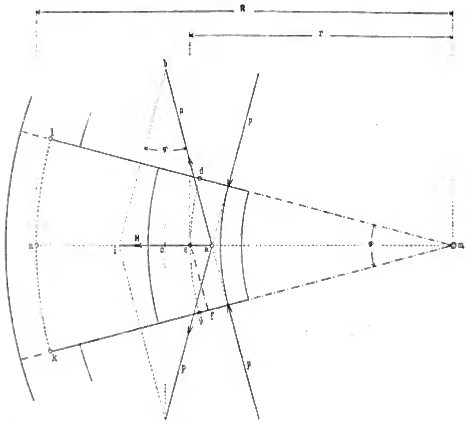
Die Preſſungen P, P ſind Seitenkräfte von H; ſie liegen mit H in einer wagrechten Ebene und ſind ſenkrecht zu den Seitenflächen mg, mb des Meridianſtreifens mgb gerichtet.

Zerlegt man die Kraft $H = de = Hc$ unter Benutzung der Strahlen Pc, Pc, die ihrer Lage und Richtung nach für die zu beſtimmenden Kräfte P, P maſsgebend werden, ſo liefert das Kräfteparallelogramm $HPcP$ in Pc und Pc die geſuchten Preſſungen P, P.

Gehört ein Meridianſtreifen einem reinen Kugelgewölbe an, ſo ergiebt ſich durch Rechnung eine einfache Beziehung zwiſchen den Preſſungen P und ihrer Mittelkraft H.

In Fig. 276 iſt mkl der Grundriſs eines ſolchen Meridianſtreifens mit der lotrechten Symmetrieebene mn und dem ſehr kleinen Winkel φ. Der Gewölbfuſs dieſes Streifens beſitzt die mittlere Dicke kl; der Halbmeſſer des Bogens kl iſt R. Für einen Kranzſtein dieſes Streifens ſei die in der Kugelfläche, welcher der Bogen kl angehört, gelegene mittlere Dicke gleich gd, und der Halbmeſſer des Bogens gd

Fig. 276.



fei r. Die Mittelkraft H der Preffungen p, p an den Seiten des Kranzfteines fei bekannt und in $a\,i$ gegeben.

Aus der Aehnlichkeit der rechtwinkeligen Dreiecke $a\,b\,c$ und $e\,f\,m$ folgt

$$\frac{a\,b}{a\,c} = \frac{e\,m}{e\,f},$$

d. h. auch, da $a\,b$ der Preffung p entfpricht,

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{e\,f}.$$

Bei der Kleinheit des Winkels φ kann die Gerade $e\,f = r \,.\, \sin \frac{\varphi}{2}$ mit dem Bogen $g\,e = r\,\frac{\varphi}{2}$ vertaufcht werden, fo dafs

$$\frac{p}{\frac{H}{2}} = \frac{r}{r\,\frac{\varphi}{2}} \quad \text{oder} \quad p = \frac{H}{\varphi} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 150.$$

wird.

Bezeichnet man die mittlere Dicke $d\,g$ mit d, fo ift $d = r\,\varphi$, alfo $\varphi = \frac{d}{r}$, mithin nach Gleichung 150 auch

$$p = \frac{H\,r}{d} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 151.$$

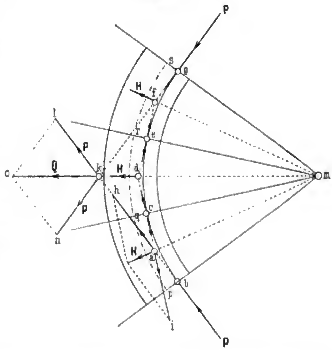
Wird $k\,l$ mit D bezeichnet, fo ift ferner $\frac{r}{d} = \frac{R}{D}$, wodurch fodann

$$p = \frac{H\,R}{D} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 152.$$

erhalten wird.

Das Gewicht G wird meiſtens nach Art. 130 (S. 223) auf graphiſchem Wege beſtimmt und danach auch der Wert der Kraft H, bezw. die Gröſse ihrer Seitenkräfte p durch Zeichnung ermittelt.

Fig. 277.

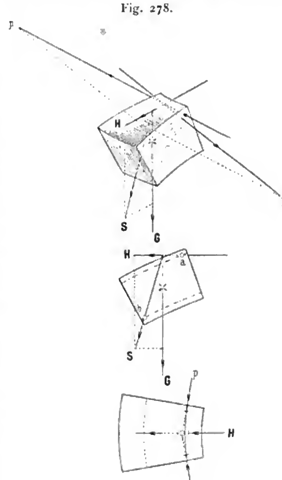


200. Wölbkranz. Betrachtet man eine Schar von Kranzſteinen eines Wölbringes für mehrere nebeneinander liegende Meridianſtreifen von gleicher Gröſse (Fig. 277), ſo bleiben die in den äuſserſten Seitenflächen mg und mb vorhandenen Preſſungen P, P gleich den für einen einzelnen Meridianſtreifen, z. B. mbc, ermittelten Preſſungen $p = q$.

Wie aus der Zeichnung zu erkennen, wirken in c, auch in e, die Preſſungen der zugehörigen Elementarſtreifen in einer geraden Linie, in gleicher Gröſse $p = q$ und in entgegengeſetzter Richtung, ſind alſo für ſich im Gleichgewicht.

An den lotrechten Grenzebenen mg und mb des Stückes eines Wölbkranzes bleiben alſo die Preſſungen P, P übrig, welche offenbar dieſelbe Gröſse wie die Seitenkräfte $p = q$ von H des Streifens mbc beſitzen müſſen. Dieſe Preſſungen P liegen in einer wagrechten Ebene, welche durch die obere Lagerkante gb am Wölbkranze geführt werden kann; ſie ſtehen je für ſich ſenkrecht zu den Ebenen mg, bezw. mb und laſſen ſich in k zu einer Mittelkraft Q vereinigen, welche zugleich die Reſultierende der Kräfte H der einzelnen Kranzſteine ſein muſs. Legte ſich das Kranzſtück mgb in den Seitenebenen mg und mb gegen beſondere Widerlagskörper, ſo hätten dieſe den Kräften P zur Herſtellung des Gleichgewichtes einen gleich groſsen Widerſtand zu leiſten.

Fig. 278.

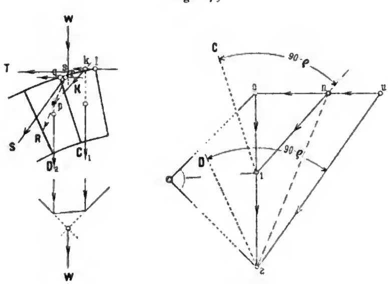


201. Formänderung. Bei den geführten Unterſuchungen ſind die Elaſtizität des Wölbmaterials und die damit im Zuſammenhange ſtehende Formänderung des Wölbkörpers, welche die an einem Kranzſteine, bezw. an dem ganzen Kranze thätigen Kräfte bewirken, auſser acht gelaſſen. Aus Gründen, welche bereits in Art. 22 (S. 54) angeführt ſind,

kann man bei Berückfichtigung der Prefsbarkeit des Materials die Angriffspunkte *a* von *H* und *b* von *S*, wie Fig. 278 ohne weiteres erklärt, um eine gewiffe Strecke in das Innere des Wölbfteines rücken, fonft aber beim Beftimmen der Gröfsen der Kräfte *H*, *S* und *p*, wie im vorhergegangenen mitgeteilt ift, vorgehen. Erfahrungsgemäfs ift auch bei Kuppelgewölben das Zurückziehen der Angriffspunkte *a* und *b* von den Kanten bei guten, hinlänglich feften Wölbfteinen nur äufserft gering. Die Angabe eines genauen Mafses für die Gröfse diefes Zurückziehens ift bis jetzt noch nicht möglich.

Mit dem Ermitteln der an den Stofsflächen der Kranzfteine eines Meridianftreifens entftehenden Kräfte geht die Beftimmung der Drucke auf die Lagerflächen der Wölbfteine diefes zugehörigen Streifens Hand in Hand. Uebereinander gelagerte Kranzfteine bilden den Meridianftreifen. 202. Preffungen der Lagerflächen.

Fig. 279.



In Fig. 279 find zur Erklärung des bei der Stabilitätsunterfuchung eines Meridianftreifens einzufchlagenden Weges zwei übereinander liegende Kranzfteine in ihrem Schnitte mit der Symmetrie- oder Kräfteebene vom Gewicht *1*, *2* und mit den Lagerfugen oder Erzeugenden der Lagerflächen *C*, *D* angenommen.

Setzt man das Gewicht *1* nach Art. 199 (S. 323) mit der durch *l* ziehenden wagrechten Kraft *n o*, welche unter Anwendung des Winkels $90 - \rho$ in bekannter Weife gefunden wird, zu der Mittelkraft $K = n\,1$ in *k* auf *l k* zufammen, fo trifft diefelbe die Fuge *C*. Gleichgewicht in Bezug auf Gleiten und Drehen ift beim Herrfchen der Kraft *n o* für den Stein oberhalb der Fuge *C* gewahrt. Setzt man weiter die Kraft *K*, welche den Druck für die Fuge *C* angiebt, mit dem Gewichte *2* im Punkte *p* zu einer Mittelkraft $R = n\,2$ des Kräfteplanes zufammen, fo fchneidet diefelbe die durch den höchften Punkt *q* des zweiten Kranzfteines gehende wagrechte, noch unbekannte Kraft im Punkte *r*. Zieht man zur Beftimmung diefer Kraft im Kräfteplane *2 D* parallel zur Erzeugenden *D*, trägt man an *2 D* den Winkel $90 - \rho$, fo begrenzt der Schenkel *2 u* diefes Winkels die durch *o*, bezw. *n* gelegte Wagrechte im Punkte *u*, und folglich wird nunmehr *u n* die in *r* wirkende wagrechte Kraft und *u 2* die gleichfalls durch *r* ziehende Refultierende *S* der beiden wagrechten Kräfte *u n* und $n\,o = u\,o$ und der beiden Gewichte *1* und $2 = o\,2$, welche in ihrer Gefamtheit für die Fuge *D* in Wirkfamkeit treten. Auch diefe den Druck für die Lagerfuge *D* angebende Kraft *S* bekundet Gleichgewicht in Ruckficht auf Gleiten und Drehung bis zur Fuge *D* des Meridianftreifens.

Die wagrechte Seitenkraft *u o* von *S* ift die Mittelkraft derjenigen Preffungen, welche bis zur Fuge *D* an den Seitenflächen des Meridianftreifens entftehen.

Setzt man diefes einfache Verfahren, welches im folgenden — bei der be-

fonderen Betrachtung über Kuppelgewölbe — noch weiter verfolgt werden foll, unter Beobachtung der in Art. 196 (S. 320) behandelten und eintretenden Fälle

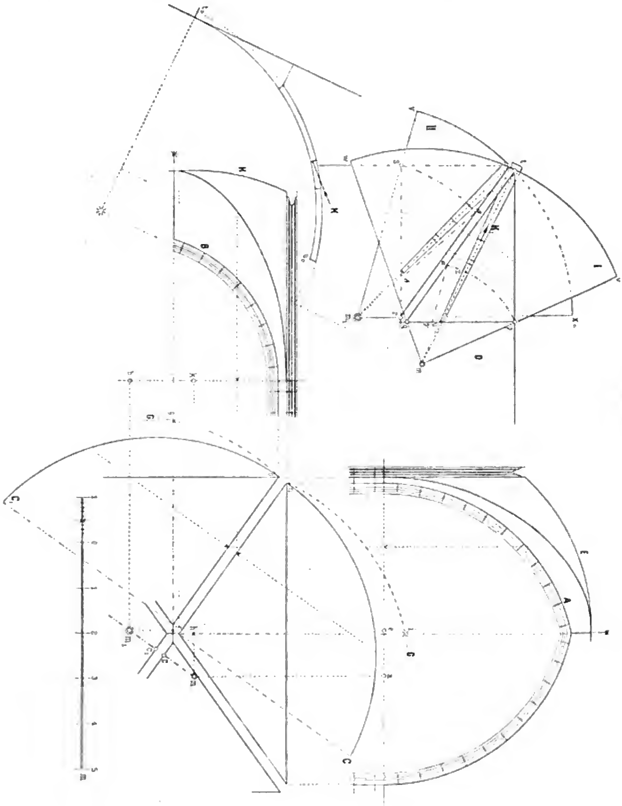


Fig. 280.

fort, fo gelangt die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens fowohl in Bezug auf die Preffungen in den Stofsflächen, als auch auf die Drücke in den Lagerflächen zum Abfchlufs.

Hätte man die Kräfte no und un zu einer Mittelkraft T und ebenſo die Gewichte 1 und 2 zu einem reſultierenden Gewichte W zuſammengeſetzt, dieſe in ihrem Schnitte s angreifen laſſen, ſo würde die durch s parallel zu $u2$ gelegte Reſultierende S ebenfalls durch den Punkt r gehen.

203. Gewölbkappen.

Die beſprochenen, für die Stabilitätsunterſuchung der Kuppelgewölbe wichtigſten Punkte laſſen ſich unmittelbar auf die Prüfung der Standfähigkeit der buſigen Kappen der gotiſchen Kreuzgewölbe übertragen. Da die ſphäroidiſchen, nicht nach reinen Kugelflächen gewölbten Kappen doch im allgemeinen in Rückſicht auf ihre praktiſche Ausführung nur wenig von der Kugelfläche abweichen, ſondern faſt immer in ihren Laibungsflächen kugelähnlich geſtaltet werden, ſo entſteht kein grofser Fehler, wenn auch dieſe ſphäroidiſchen Kappen bei der ſtatiſchen Unterſuchung wie die mit Kugelflächen behafteten Kappen behandelt werden.

Für das Kreuzgewölbe über einem rechteckigen Gewölbfelde in Fig. 280 ſind A und C, bezw. B und C_1 die nach Kreisbogen genommenen Anſatzlinien der Gewölbflächen. Die Mittelpunkte dieſer Kreisbogen liegen in der wagrechten Kämpferebene; m und $m_{,}$ ſind die Kugelmittelpunkte für das Kappenſtück zwiſchen A und C, bezw. zwiſchen B und C_1. Der gröfste Kreis des erſten Stückes iſt in G, derjenige des zweiten Stückes in $G_{,}$ auf bekanntem Wege ermittelt.

Unter Benutzung der gröfsten Kreiſe werden die Kugelſtücke der Kappen in ſchmale, lotrechte Meridianſtreifen zerlegt. Für jede Kappe ſind den einzelnen Streifen gleiche Winkel zu geben; auch iſt, wie im Plane D gezeigt, thunlichſt eine gleichmäſsige Anordnung in Bezug auf die Symmetrieebenen mt und $m_{,}t$ der längſten Streifen zu treffen. Iſt die wagrechte und lotrechte Projektion, wie ut, $u_0 t_0$ eines gröfsten Meridianſtreifens beſtimmt, ſo iſt dieſes Gewölbſtück für ſich einer ſtatiſchen Unterſuchung zu unterwerfen, um danach ohne weiteres die Stabilitätsverhältniſſe der übrigen in den zugehörigen Kappenſtücken noch vorhandenen, aber kürzeren Streifen, gleiche Stärke und Belaſtung vorausgeſetzt, ableiten zu können.

Beim Zerlegen der Kappenſtücke in Meridianſtreifen ergeben ſich weiter in Rückſicht auf die Scheitellinien qp der Kugelfläche I, mit dem gröfsten Kreiſe vw, und rs der Kugelfläche II, mit dem gröfsten Kreiſe xy, durch die Ringlinien $p\alpha$, bezw. $s\beta$ und durch die Scheitellinien qp, bezw. rs beſtimmt begrenzte Gebiete $q\alpha p$ und $r\beta s$, welche die in den lotrechten Scheitelebenen pq und sr entſtehenden Preſſungen beſonders beeinfluſſen.

Steht die lotrechte Achſe der Kugelfläche, welche die Laibung eines Kappenſtückes liefert, wie in Fig. 281 bei m, auſserhalb des eigentlichen Gewölbfeldes, ſo iſt nach dem Feſtlegen ihres gröfsten Kreiſes G wiederum nur ein zweckmäſsiges Zerlegen des Kappenſtückes in ſchmale Meridianſtreifen vorzunehmen. Der gröfste dieſer Streifen, wie z. B. gf mit der lotrechten Projektion $g_{,}f_{,}$, iſt für die ſtatiſche Unterſuchung zu Grunde zu legen.

In jeder Beziehung iſt die Ermittelung der Seitenpreſſungen, welche die buſigen Kappen auf die ſtützenden Rippenkörper ausüben, von Bedeutung.

Iſt nach Fig. 282 das Zerlegen der Kappen in Meridianſtreifen vorgenommen, ſo kann man, z. B. für den gröfsten Streifen $hfeg$, die in der beſonders ſtark gezeichneten Kranzſchicht entſtehende wagrechte Kraft H ganz im Sinne der Ausführungen in Art. 200 (S. 326) und danach die Preſſungen P an den Stoſsflächen des zugehörigen Kranzſteines beſtimmen. Die Preſſungen P ſind für ſämtliche Kranzſteine des Wölbringes in Betracht zu ziehen. Dieſelben machen ſich ſowohl

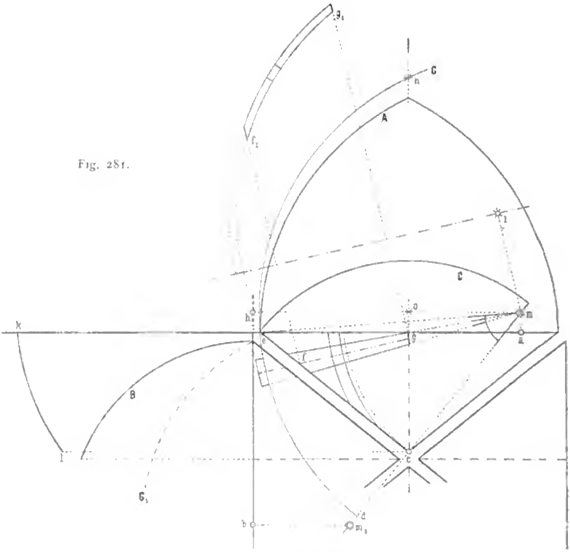


Fig. 281.

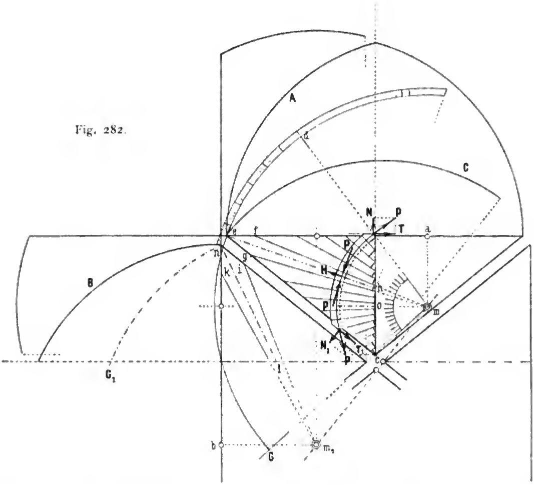
in den Anfatzflächen der Kränze, fofern die Kräfte in den Stofsflächen bei einzelnen Ringfchichten nicht gleich Null werden, am Randbogen der Seite *e a*, als auch am Diagonalbogen *e c* geltend. Sie find auch hier bei einer normalen Stellung zu den äufserften Meridianebenen der Kranzfchicht wagrecht gerichtet und kennzeichnen unmittelbar die Beanfpruchung der ftutzenden Rippenkörper durch diefe Kräftegruppe der Kappenwölbung.

Nach dem Zerlegen der Preffungen P in die Seitenkräfte N und T, bezw. N_i und T_i rechtwinkelig zu den Ebenen der Rand- und Diagonalbogen, bezw. in diefe Ebene fallend, läfst fich hiermit unter Berückfichtigung des in Art. 134 (S. 235) Vorgetragenen die weitere ftatifche Unterfuchung diefer Bogenkörper in Verbindung bringen.

Ergeben die Preffungen P der Stofsflächen der einzelnen Kranzfchichten auch fofort die Gröfse der hierdurch eintretenden Seitenfchübe für die Rippenkörper, fo find damit doch zunächft die Preffungen noch nicht klargelegt, welche durch die innerhalb der bei Fig. 280 erwähnten Gebiete der Scheitellinien der Kappen befindliche Wölbung in den fenkrechten Ebenen diefer gekrümmten Scheitellinien beim Zufammenfchnitt der Wölbfchichten entftehen.

Die Beftimmung der Gröfse diefer nach den Scheiteln der Rand- und Diagonalbogen gelangenden Preffungen foll befonders nach Fig. 283 vorgenommen werden.

Fig. 282.

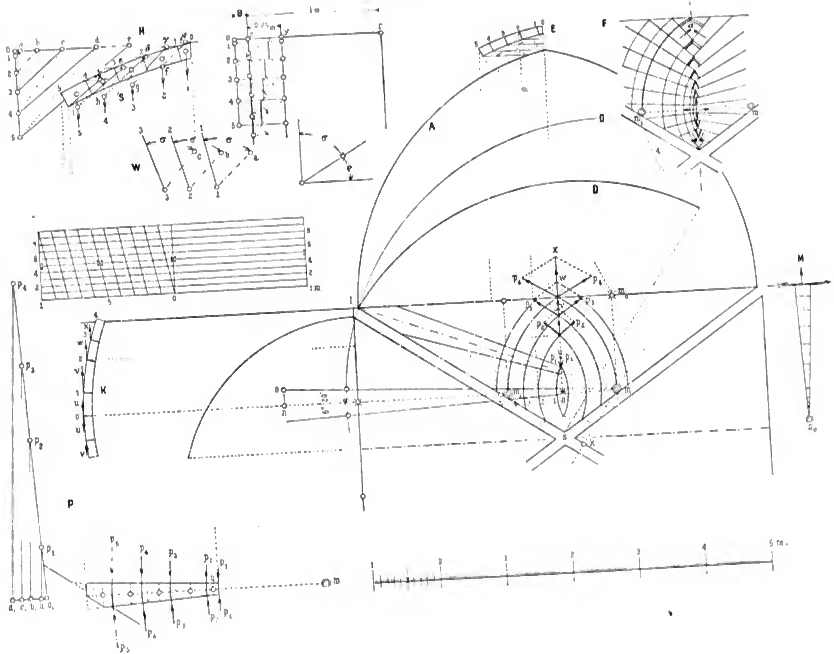


Zerlegt man das Kappengebiet mit den Kugelmittelpunkten m und m_1, welche für die beiden in der Scheitellinie $s\,v$ zufammengefügten Kappenteile mafsgebend werden, in einzelne fymmetrifch zur Scheitellinie geordnete Meridianftreifen, fo bleiben, wie aus dem Plane F zu erfehen ift, an ihrer oberen Begrenzung im allgemeinen noch Lücken. Zur Herftellung eines Widerlagers für die an den Lücken endigenden Kranzfchichten ift das Einfügen von Schlufsfteinen erforderlich, welche die Seitenpreffungen der Kränze aufzunehmen haben. Werden diefe fymmetrifch zur lotrechten Ebene der Scheitellinie liegenden Preffungen zu Mittelkräften vereinigt und diefe unter Umftänden noch mit den an fich äufserft geringfügigen Gewichten der einzelnen Schlufsfteine verbunden, fo erhält man die in jener Ebene der Scheitellinie wirkenden Schübe, welche fich nach den Rand- und Diagonalbogen fortpflanzen.

Dafs derartige Schübe vorhanden fein müffen, zeigt die folgende Ueberlegung. Beftände die Kappe, ftatt aus zwei Kugelftücken mit den Mittelpunkten m und m_1, nur aus einem Kugelftücke mit dem Mittelpunkte in s oder in einem fonftigen Punkte auf der wagrechten Projektion der Scheitellinie $s\,v$, fo würde, wie der Plan M angiebt, die Scheitellinie in der Symmetrieebene $s_0\,M$ eines Meridianftreifens liegen, und die Mittelkraft M der Seitenpreffungen, welche am unteren Kranzfteine in diefem Streifen entfteht, würde notwendig auf Rand- und Diagonalbogen gelangen müffen.

Für das Gebiet der Scheitellinie, welches in der Zeichnung durch die Fläche $v\,m_1\,s\,m\,v$ begrenzt ift, find die Wölbkränze o bis 4 angenommen.

Fig. 283.



Der gröfste Meridianftreifen ift p, l mit der Symmetrieebene $m l$. Sein Winkel φ ift mittels des rechtwinkeligen Dreieckes $o n m$ durch

$$\operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} = \frac{o n}{n m} = \frac{0{,}275}{5} = 0{,}55 ,$$

d. h. $\frac{\varphi}{2} = 3^0\,10'$ und $\varphi = 6^0\,20'$ gefunden.

Die ftatifche Unterfuchung diefes Meridianftreifens ift in den Plänen H und P für 5 Wölbfteine nach der Grundrifsprojektion $o\,5$ und der lotrechten Projektion E in vergröfsertem Mafsftabe ausgeführt.

Um die Strecken für den Rauminhalt, bezw. für die Gewichte der Kranzfteine, welche nur $0{,}12^{\text{m}}$ Höhe befitzen, ohne eine befonders grofse Zeichnung anzufertigen, doch in einer Gröfse darzuftellen, welche zur fcharfen graphoftatifchen Behandlung geeignet ift, kann man die in Art. 130 (S. 223) näher angegebene Beftimmung folcher Strecken noch mit einer weiteren, beliebig gewählten Vergröfserung in einfacher Weife durch Zeichnung verfehen.

Benutzt man zum Zwecke der Vergröfserung jener Strecken eine befondere Grundlinie $z y$ kleiner als 1^{m}, alfo ftatt der in Art. 130 (S. 224) in Fig. 196 gezeichneten Strecke $z o$ gleich 1^{m}, eine weit kleinere Strecke $z y = \frac{1}{n}$ Met., fo entfteht nach Gleichung 135 (S. 223) $\frac{x}{1} = \frac{w}{d}$ nunmehr in Rückficht auf die Strecke $z y = \frac{1}{n}$ Met., weiter der Ausdruck $\frac{x}{\frac{1}{n}} = \frac{w}{d}$, woraus $w = n x d$ folgt. Hiernach wird w in n-facher Vergröfserung erhalten. Im Plane H ift $z y = 0{,}25^{\text{m}} = \frac{1}{4}^{\text{m}}$ gewählt. Da $n = 4$ ift, fo wird w fofort 4fach vergröfsert dargeftellt.

Da endlich die Bafis $B = 0{,}1 = \frac{1}{10}^{\text{m}}$ angenommen wurde, fo ift im ganzen durch $\frac{1}{n} B = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} = \frac{1}{40}$ eine 40fache Vergröfserung der Strecke für die Rauminhalte der Kranzfteine in der Zeichnung gewonnen.

Im übrigen ift die Beftimmung der Rauminhalte, bezw. der Gewichte diefer Steinkörper nach den in Art. 130 (S. 223) gemachten Angaben getroffen.

Soll nun der Rauminhalt v, z. B. des Wölbfteines 3, zahlenmäfsig ausgedrückt werden, fo ift die zugehörige Strecke $2\,3$ im Inhalts- oder Gewichtsplane zu meffen. Ihre Länge beträgt $0{,}15^{\text{m}}$. Hiernach ift unter Berückfichtigung der 40fachen Vergröfserung der Inhalt

$$v = 0{,}15 \cdot \frac{1}{40}^{\text{cbm}} = 0{,}00375^{\text{cbm}}.$$

Aus dem Grundrifs P des Meridianftreifens ergiebt fich für den Stein 3 durch Meffung eine mittlere Dicke, welche durch den Weg feines Schwerpunktes innerhalb des Streifens beftimmt ift, zu $0{,}125^{\text{m}}$; feine Querfchnittsfläche wird nach dem Plane H zu $0{,}12 \cdot 0{,}25^{\text{qm}} = 0{,}03^{\text{qm}}$ gefunden; folglich ift fein Inhalt $v = 0{,}03 \cdot 0{,}125^{\text{cbm}} = 0{,}00375^{\text{cbm}}$, wie vorhin. Wiegt 1^{cbm} Wölbmaterial, z. B. Backftein, 1600^{kg}, fo ift das Gewicht des Steines 3 gleich $0{,}00375 \cdot 1600^{\text{kg}} = 6^{\text{kg}}$.

In Uebereinftimmung mit dem in Art. 196 bis 202 (S. 320 bis 327) Gefagten ift unter Benutzung des Gewichtsplanes B die Stabilitätsunterfuchung des Meridianftreifens $o\,5$ im Plane H auf graphifchem Wege ausgeführt.

Für den erften Stein trifft die Gewichtslinie 1 die durch o geführte Wagrechte im Punkte β. Der Strahl βf, parallel mit dem Schenkel $1 a$ des für die Fuge 1 in Rückficht auf Gleiten feftgelegten Winkels $1 1 a = 90 - \rho = \sigma$ durch β gezogen, fchneidet die Fuge 1. Zieht man im Plane H den Strahl $1 a$ parallel zu βf, bezw. parallel zum Schenkel $1 a$ des Winkels $1 1 a$, fo erhält man in der Strecke $a o$ des Planes a die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines und in $a 1$ den Druck auf die Lagerfläche 1. Die Kraftrichtung βf fchneidet die Gewichtslinie 2 im Punkte f.

Ein Strahl $f \gamma$, parallel zur Mittelkraft $a 2$ der Kräfte $a o$ und $o 2$ geführt, liefert auf der durch 1 gezogenen Wagrechten den Punkt γ. Eine Linie γg parallel zum Schenkel $2 b$ des für die Fuge 2 gezeichneten Winkels $2 2 b$ genommen, trifft wiederum die Fuge 2. Man kann alfo ohne weiteres auch im Plane H den Strahl $2 b$ parallel zu γg oder, was dasfelbe ift, parallel zum Schenkel $2 b$ des Winkels $2 2 b$

ziehen, um in ba die Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines und in $b2$ den Druck für die Lagerfuge 2 zu erhalten. Beim dritten Kranzfteine fchneidet die durch g parallel zu $b3$ geführte Kraftftrecke die durch 2 gezogene Wagrechte im Punkte δ. Der durch δ parallel zum Schenkel $3c$ des Winkels $33c$ der Fuge 3 gelegte Strahl S trifft die Fuge 3 nicht mehr. Defshalb mufs zur Beftimmung der Mittelkraft cb der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines nach dem in Art. 199 (S. 323) behandelten dritten Falle die von δ ausgehende Kraftrichtung δh durch den tiefften Punkt der Fuge 3 gelegt werden. Nimmt man hiernach $3c$ parallel zu δh, fo ift cb die gefuchte Mittelkraft der Seitenpreffungen des dritten Kranzfteines und $c3$ der Druck in der Lagerfuge 3. Da für die Fuge 3 die Gefahr des Gleitens die Beftimmung der bezeichneten Mittelkraft nicht mehr beeinflufst, fo kann auch für die Fuge 4 u. f. f. die Unterfuchung auf Gleiten unterbleiben. Der Strahl δh fchneidet die Gewichtslinie 4 im Punkte h. Die durch h parallel zur Refultierenden $c4$ der Kräfte $c3$ und 34 gezogene Gerade $h\varepsilon$ trifft die durch 3 gelegte Wagrechte in ε. Von ε aus braucht man nur einen Strahl εi durch den tiefften Punkt der Fuge 4 zu legen, im Plane H durch 4 eine Parallele zu εi zu ziehen, um in der Strecke dc die Mittelkraft der Seitenpreffungen des vierten Kranzfteines und in $d4$ die Preffung in der Lagerfuge 4 zu gewinnen. Fährt man in diefer Weife fort, fo kommt man an eine Fuge, welche ohne weiteres bei genügender Gewölbftärke nicht mehr aufserhalb, fondern innerhalb ihrer Begrenzungspunkte von den Mittelkräften, wie folche in den Strahlen $c4$, $d5$ u. f. f. fich ergeben, gefchnitten werden. Alsdann treten überall für die zugehörigen Kranzfteine keine Beftimmungen von Seitenpreffungen mehr ein. Durch einfache Zufammenfetzung der für die noch folgenden Fugen in Frage kommenden Kräfte, welche im allgemeinen nicht mehr unmittelbar von dem Reibungswinkel und den Lagerkanten abhängig gemacht werden, ift alsdann, wie fich fpäter bei der Unterfuchung eines gröfseren Kuppelgewölbes noch zeigen wird, die Weiterführung der Stabilitätsermittelungen in Bezug auf die Drücke in den Lagerflächen zu beforgen.

Da nunmehr die Mittelkräfte ao, ba, cb, dc der Seitenpreffungen der Kranzfteine für die im Wölbgebiete vm, smv der Scheitellinie liegenden Ringfchichten bekannt geworden find, fo laffen fich diefe Preffungen felbft wiederum durch Zeichnung, wie der Plan P kenntlich macht, leicht beftimmen. Die Preffungen p_1, p_2 u. f. f. liegen in wagrechten Ebenen und ftehen lotrecht zu den Seitenebenen des Meridianftreifens.

Nimmt man im Plane P die Strecke $o_1 a_1$ gleich der wagrechten Mittelkraft ao für die Seitenpreffungen am erften Kranzfteine des Planes H, zieht man $o_1 p_1$ und $a_1 p_1$ parallel zu den lotrechten Strahlen p_1 des Meridianftreifens m, fo erhält man in den Strecken $o_1 p_1$, bezw. $p_1 a_1$ die gefuchten Seitenpreffungen.

Für den zweiten Kranzftein ift $o_1 b_1 = ba$ des Planes H. Die Strecken $o_1 p_2$, bezw. $p_2 b$ geben die Seitenpreffungen diefes Steines u. f. f. Sollten die Seitenpreffungen, z. B. für den dritten Stein, durch Rechnung unter Benutzung der hierfür auf graphifchem Wege gefundenen Mittelkraft cb des Planes H beftimmt werden, fo ift Gleichung 150 (S. 325) anzuwenden. Man erhält hiernach

$$p_3 = \frac{cb}{\varphi}.$$

Da der Winkel φ zu $6^\circ 20'$ ermittelt war, fo ift die Bogenlänge φ bei einem Halbmeffer 1 gleich 0,1105. Die Strecke cb mifst 0,19 Met., bezw. Kub.-Met. Hiernach wird

$$p = \frac{0{,}19}{0{,}1105} = \sim 1{,}72 \text{ cbm}.$$

Die Zeichnung liefert $p_3 = o_1 p_3 = 1{,}75$ cbm.

Die Rauminhalte, bezw. Gewichte find jedoch in 40facher Vergröfserung gezeichnet; mithin ift $p_3 = \frac{1{,}75}{40} = \sim 0{,}044$ cbm zu fetzen, wofür bei Backfteinmaterial ein Gewicht von $0{,}044 \cdot 1600^{\text{kg}} = 70^{\text{kg}}$ entfteht.

Setzt man die in den Kränzen des Scheitelgebietes vm, smv wirkenden Seitenpreffungen, wie in Art. 200 (S. 326) und in der Zeichnung angegeben ift, der Reihe nach zu Mittelkräften u, v, w, x zufammen, fo ergiebt fich aus dem Plane K die Beanfpruchung des Randbogens und der Diagonalbogen durch diefes in der Scheitelebene sv wirkende Kräftefyftem.

Die Vereinigung diefes Syftems mit den, meiftens jedoch in geringer Gröfse auftretenden, Gewichten der Schlufsfteine der früher erwähnten Lücken α liefert alsdann die in der Scheitelebene sv liegenden refultierenden Schübe für die Rand- und Diagonalbogen.

Bei Kappen mit fphäroidifcher Bufung kann der im vorhergegangenen erklärte Gang der ftatifchen Unterfuchung beibehalten werden. Die gemeinfchaftliche lot-

rechte Achſe der Meridianebenen, welche das Zerlegen der zu unterſuchenden Kappenſtücke in ſchmale Meridianſtreifen angeben, iſt die durch den Gipfelpunkt der kugelähnlichen Kappe geführte Gerade. Der Fuſspunkt dieſer lotrechten Achſe kann auf der Kämpferebene des Gewölbes innerhalb oder auſserhalb der zugehörigen Kappe liegen; für das Zerlegen dieſer ſphäroidiſchen Kappen bleiben die in Art. 203 (S. 329) für Kugelkappen angegebenen Maſsnahmen beſtehen.

In gleicher Weiſe iſt auch die ſtatiſche Unterſuchung der Kappen bei den flachen Kreuzgewölben, den Stern- und Netzgewölben, gleichgültig, ob dieſelben nach reinen Kugelflächen oder nach ſphäroidiſchen Flächen geſtaltet ſind, zu führen.

Die Stärke der Gewölbkappen kann für die Praxis nach der Gröſse der Preſſungen, welche auf die Stoſs-, bezw. Lagerflächen der Wölbkränze gelangen, berechnet werden. 204. Stärke der Kappen.

Wie aus der ſtatiſchen Unterſuchung des oberen Teiles eines Meridianſtreifens im Plane *H* in Fig. 283 hervorgeht, ſind für die Beſtimmung der Gewölbſtärke eines Kranzes, bei möglichſt ſtrengem Verfahren, die Abmeſſungen eines Kranzſteines zu berechnen, einmal in Rückſicht auf die normalen Preſſungen der Seitenflächen und ſodann in Bezug auf den Druck ſeiner Lagerfläche. Da es an einer genauen Bekanntſchaft von der wirklich ſtattfindenden Druckverteilung am gepreſsten Steine und der entſtehenden Formänderung desſelben mangelt, iſt die bereits in Art. 17 (S. 41) angegebene, auf Erfahrung geſtützte Grundlage für die weitere Durchführung der Rechnung in praktiſcher Beziehung zu verwerten.

Dem Weſen der ſtatiſchen Unterſuchung der buſigen Kappen der gotiſchen Kreuzgewölbe entſprechend, kann aber bei der Berechnung der Gewölbſtärke nicht, wie bei den cylindriſchen Gewölben, von einem möglich kleinſten Werte eines Horizontalſchubes in einer oberen Scheitelfuge, welcher bei Kuppelgewölben ſogar gleich Null iſt, ſondern nur von der Gröſse der normalen Preſſungen, welche die Stoſs-, bezw. Lagerflächen eines Kranzſteines beeinfluſſen, füglich die Rede ſein. Deshalb kann man für die Praxis die Gewölbſtärke nach den für Normaldruck ermittelten Gleichungen 51, bezw. 52 (S. 46) bei der Wölbung aus Quadern, ſowie nach den Gleichungen 53, bezw. 54 (S. 47) bei Backſteinmaterial von guter Beſchaffenheit beſtimmen. Hierbei hat man, da die Gewölbſtärke in den meiſten Fällen für alle Kranzſchichten gleich groſs genommen wird, den Normaldruck zu ermitteln, welcher auf die Fuſsfläche des gröſsten Meridianſtreifens einer Kappe kommt. Aber wenn auch dieſelbe Gewölbſtärke nicht durchweg für alle Wölbſchichten, vermöge etwa ſehr ſtark nach dem Fuſse des Streifens anwachſender Drücke, beibehalten werden kann, ſo iſt man mit Hilfe der ſtatiſchen Unterſuchung und der erwähnten Gleichungen doch ſtets in der Lage, für irgend eine Kranzſchicht die Gewölbſtärke ausfindig zu machen.

Beiſpiel. So iſt in Fig. 283 (S. 332) für den Stein *3* im Plane *H* eine normale Preſſung $p_3 = 0{,}044$ cbm gefunden. Die Breite der Kranzſchicht iſt bei der Teilung des Meridianſtreifens *05* zu $0{,}25$ m angenommen; mithin muſs, um die für den Normaldruck bei einer Tiefe gleich 1 m entwickelten Gleichungen benutzen zu können, der Normaldruck für die Stoſsflächen des Steines *3* berechnet werden als 205. Beiſpiel.

$$N_3 = \frac{p_3 \cdot 1}{0{,}25} = \frac{0{,}044 \cdot 1}{0{,}25} = 0{,}176 \text{ cbm}.$$

Setzt man dieſen Wert in Gleichung 53 (S. 47) für *N*, ſo ergiebt ſich bei Backſteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}176)\, 0{,}176} = 0{,}065 \text{ m};$$

d. h. gleich einer Backfteindicke. In der Zeichnung ift in Rückficht auf eine gröfsere Normalpreffung am Fufse des gröfsten Meridianftreifens die Kranzftärke gleich $0{,}12$ m, gleich einer Backfteinbreite, genommen.

Der Druck $c\,\beta$ für die untere Lagerfläche des Steines β ergiebt fich, unter Berückfichtigung der 40fachen Vergröfserung der Kraftftrecke $c\,3$, im Plane H zu $\frac{0{,}475}{40} = \backsim 0{,}012$ cbm.

Nach dem Grundrifs m des Meridianftreifens ift die Tiefe der unteren Lagerfläche gleich $0{,}15$ m. Die aus $c\,\beta$ für diefe Fläche entftehende normale Seitenkraft ift etwas kleiner als $c\,\beta$, möge aber hier gleich der Strecke $c\,\beta$ gefetzt werden.

Hier wird der in Rechnung zu ftellende Normaldruck für eine Tiefe gleich 1 m

$$N = \frac{0{,}012 \cdot 1}{0{,}15} = 0{,}08 \text{ cbm},$$

alfo kleiner, als der vorhin für die Stofsflächen berechnete Wert N_3. In diefem Falle ift der Wert für N bei der Berechnung der Gewölbftärke aufser Acht zu laffen.

Umgekehrt aber ift bei Kranzfchichten, deren Normalpreffungen in den Stofsflächen, die felbft den Wert Null annehmen können, kleinere Gewölbftärken ergeben, als der Normaldruck der Lagerflächen fordert, der letztere zu berückfichtigen.

Hat das Gewölbe aufser feinem Eigengewicht noch eine Uebermauerung oder eine fonftige ruhende Belaftung aufzunehmen, fo ift diefe Ueberlaft, auf das Gewicht des Wölbmaterials in bekannter Weife zurückgeführt und bei der Streifenteilung des Meridianftreifens entfprechend berückfichtigt, bei der ftatifchen Unterfuchung ebenfo zu behandeln, wie früher bei den belafteten cylindrifchen Gewölben gezeigt wurde.

206. Empirifche Regeln. Im allgemeinen bedürfen die unbelafteten bufigen Kappen der gotifchen Kreuzgewölbe nur einer geringen Stärke. Bei der grofsen Mannigfaltigkeit in der Geftaltung diefer Gewölbe find empirifche Regeln, welche alle Fälle der verfchiedenen Gewölbanlagen umfaffen follten, für die Feftftellung der Kappenftärke von keinem Werte.

Hat das Rippen- und Kappenfyftem in konftruktiver Beziehung eine richtige, ungekünftelte Anordnung erfahren, fo können bei der Verwendung von gutem Backfteinmaterial, welches jetzt vorzugsweife zur Wölbung der Kappen benutzt wird, forgfältige Ausführung und guter Mörtel vorausgefetzt, unbelaftete bufige Kappen bis rund 10 m Spannweite mit 12 cm, d. h. ½ Backftein Stärke angenommen werden.

Erfolgt die Wölbung mit geeignetem natürlichem Steinmaterial, fo beträgt die Kappenftärke in der Regel nicht unter 20 cm, welche ausnahmsweife bei ausgezeichnetem Material wohl bis zu 10 cm herabfinkt. Bei belafteten Kappen find die angegebenen Stärken zu vergröfsern. Den beften Auffchlufs über die anzunehmende Gewölbftärke wird man immer durch die ohne grofse Mühe auszuführende ftatifche Unterfuchung der Kappen erhalten.

β) Stabilität der Gewölbrippen.

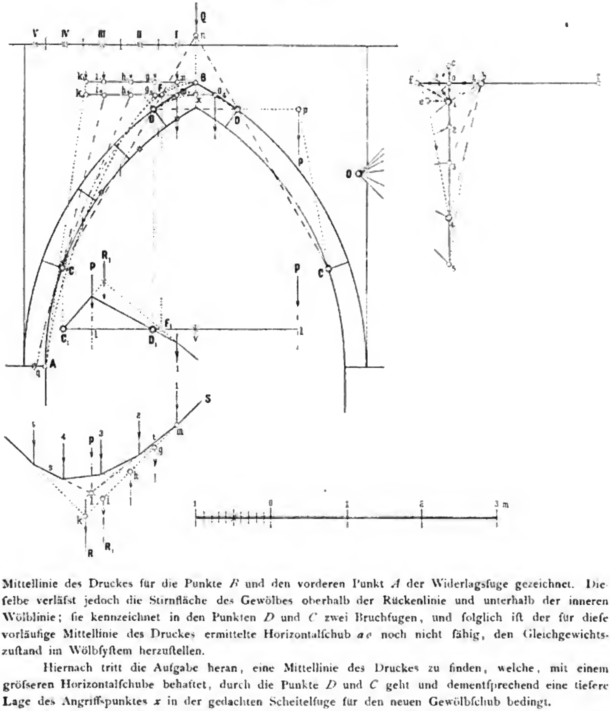
207. Gewölbrippen. Die Rippenkörper der gotifchen Kreuzgewölbe find in den meiften Fällen Beftandteile cylindrifcher Gewölbe, deren Bogenlinie, abgefehen von einem Halbkreife oder einem Korbbogen, am häufigften als Spitzbogen mit Kreisbogenfchenkeln angenommen wird. Liegen die Leitlinien der Schenkel des Spitzbogens in einer und derfelben lotrechten Ebene und ift die Belaftung beider Bogenfchenkel diefelbe, fo bildet der Rippenkörper ein cylindrifches, fymmetrifch geformtes und fymmetrifch belaftetes Gewölbftück. Ebenfo können auch Rippenkörper in befonderen Fällen als einfchenkelige Teile eines Spitzbogens und fomit als einhüftige, oder anfteigende Bogen auftreten. Wie nun auch an fich Form, Anordnung und Belaftung der Rippenkörper fein mögen, ftets find für ihre ftatifche Unterfuchung die für die

Ermittelung des Gleichgewichtes cylindrifcher Gewölbe gegebenen Grundlagen als Richtfchnur zu nehmen.

Für die Stabilitätsunterfuchung eines fymmetrifch geformten und fymmetrifch belafteten Spitzbogengewölbes ift Fig. 284 als Beifpiel in Betracht gezogen. 208. Spitzbogengewölbe.

Die Tiefe des Gewölbes fei gleich 1 m. Nach bekannter Zerlegung in Teilftreifen *I*, *II* u. f. f. und Beftimmung der Gewichte *o 1*, *1 2* u. f. f. diefer prismatifchen Teilkörper unter Benutzung der Reduktionsbafis $o\,z = 2$ m, ift unter Annahme eines möglich kleinften, durch den höchften Punkt *B* der gedachten Scheitelfuge des Gewölbes wagrecht gehenden Gewölbfchubes für die Gewölbhälfte *BA* eine

Fig. 284.



Mittellinie des Druckes für die Punkte *B* und den vorderen Punkt *A* der Widerlagsfuge gezeichnet. Diefelbe verläfst jedoch die Stirnfläche des Gewölbes oberhalb der Rückenlinie und unterhalb der inneren Wölblinie; fie kennzeichnet in den Punkten *D* und *C* zwei Bruchfugen, und folglich ift der für diefe vorläufige Mittellinie des Druckes ermittelte Horizontalfchub *ao* noch nicht fähig, den Gleichgewichtszuftand im Wölbfyftem herzuftellen.

Hiernach tritt die Aufgabe heran, eine Mittellinie des Druckes zu finden, welche, mit einem gröfseren Horizontalfchube behaftet, durch die Punkte *D* und *C* geht und dementfprechend eine tiefere Lage des Angriffspunktes *x* in der gedachten Scheitelfuge für den neuen Gewölbfchub bedingt.

Zur Auffindung diefer Drucklinie und der Lage des Punktes *x* kann man das in Art. 27 (S. 68) Gegebene benutzen. Hiernach erhält man in der durch *C* und *D* geführten Geraden *Cn* die Polarachfe und im Plane $C_1 I$ unter Verwertung des Seilpolygons *S* in F_1 die wagrechte Projektion des Fixpunktes *F*,

welcher für die Polarachfe Cn in Frage kommt. Durch den Punkt F mufs alfo der Strahl des Seilpolygons $o_4 i_{,,} C$ mit der Refultierenden $R_{,} = o\,4$ des Gewichtsplanes gehen. Der durch F zu legende Strahl hat aber vermöge der gleichen Form und Belaftung der Gewölbfchenkel die wagrechte Lage. Der Schnitt x diefer durch F geführten Wagrechten mit der gedachten Scheitelfuge B giebt den Angriffspunkt des gefuchten neuen Gewölbfchubes $b\,o$, welcher in feiner Gröfse auf bekanntem Wege als Strecke $b\,o$ mittels des parallel zu $Ci_{,,}$ durch 4 gezogenen Strahles $4\,b$ erhalten wird. Die mit dem Gewölbfchube $b\,o$ gezeichnete Drucklinie $x\,D\,C\,q$ verbleibt ganz innerhalb der Stirnfläche $A\,B$; mithin ift der Gewölbfchub $b\,o$ die nunmehr möglich kleinfte Horizontalkraft, welche nötig und fähig ift, den Gleichgewichtszuftand gegen Drehung im Gewölbfyftem aufrecht zu erhalten. Da eine Gefahr des Gleitens der Steine auf den Fugen nicht bekundet wird, fo ift die Stabilitätsunterfuchung abgefchloffen.

Für die Stärke des Gewölbes ift zunächft die Gröfse des Schubes $b\,o$ zu berückfichtigen. Es ift $b\,o = 0{,}47\,^{m}$ gemeffen; da die Bafis $o\,z = 2\,^{m}$ gewählt war, fo ift $b\,o = 0{,}47 \,.\, 2 = 0{,}94\,^{qm}$ oder, bei der Tiefe des Gewölbes gleich $1\,^{m}$, mit $0{,}94\,^{cbm}$ in Rechnung zu ftellen. Für Quadermaterial ift nach Gleichung 45 (S. 45), wenn $H = b\,o = 0{,}94$ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met. gefetzt wird, die fenkrecht zur inneren Wölblinie anzunehmende Stärke

$$d = \frac{1}{60} \sqrt{(180 - 0{,}94)\, 0{,}94} = \infty\, 0{,}22\,^{m}.$$

Der Normaldruck für die wagrechte Kämpferfuge A ift gleich der Gewichtsftrecke $o\,5$ mal Bafiszahl $o\,z$, d. h. $= 2{,}325 \,.\, 2 = 4{,}65$ Quadr.-Met., bezw. Kub.-Met.

Nach Gleichung 51 (S. 46) wird

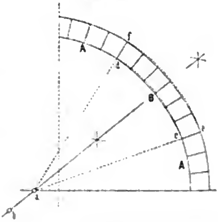
$$d_1 = \frac{1}{180} \sqrt{(540 - 4{,}65)\, 4{,}65} = \infty\, 0{,}28\,^{m},$$

alfo gröfser als d. Mithin würde die Gewölbftärke durchweg zu $0{,}28\,^{m}$ angenommen werden. Sie war in der Zeichnung zu $0{,}30\,^{m}$ gewählt.

Ein anderer Weg zur Beftimmung der Gröfse des Gewölbfchubes $f\,o = b\,o$ und der Lage des Angriffspunktes x für die durch D und C gehende Drucklinie ift der folgende.

Das Stück $D\,B\,D$ des Gewölbes befitzt ein Gewicht $c\,1$, welches gleich dem zweifachen der Strecke $o\,1$ ift, während das Gewicht jedes Stückes $D\,C = P$ gleich der Strecke $1\,4$ wird. Zerlegt man das Gewicht $c\,1$ in n nach den Richtungen $n\,D$, $n\,D$ in die beiden gleichen Seitenkräfte $c\,d$, $d\,1$, fo wirkt im Punkte D zunächft eine folche Kraft $d\,1$. Aufserdem wirkt in D eine wagrechte Kraft $c\,1$, welche als Seitenkraft der durch $p\,C$ gehenden und hiermit der Lage nach beftimmten Refultierenden $c\,4$ in Verbindung mit der bekannten Kraft P im Kräftedreieck $1\,4\,c$ fofort zu ermitteln ift. Die in D wirkfame, aus $d\,1$ und $c\,1$ entftehende Mittelkraft $f\,1$ ift die im Punkte D auftretende Preffung. Die wagrechte Seitenkraft $f\,o$ diefer Preffung ift der gefuchte Horizontalfchub. Der parallel zu $f\,1$ gezogene Strahl $D\,o_4$ fchneidet die Gewichtslinie des Stückes $B\,D$ im Punkte o_4. Die durch o_4 gelegte Wagrechte $o_4\,k_{,,}$ trifft die angenommene lotrechte Scheitelfuge B im gefuchten Punkte x.

Fig. 285.



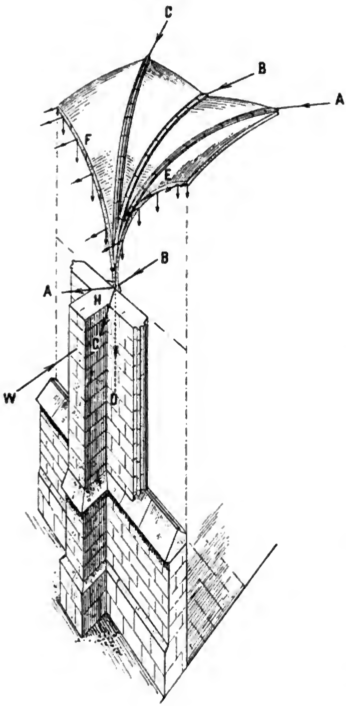
Aus dem Verlaufe der Mittellinie des Druckes $x\,D\,C\,q$ erkennt man ihre ziemlich fteile Stellung zwifchen den Bruchfugen C und D. Hiernach könnte zur Erzielung einer ftatifch günftigen Bogenform unter Umftänden eine Umgeftaltung des urfprünglichen Spitzbogens in einen Korbbogen derart vorgenommen werden, dafs nach den Angaben von *Viollet-le-Duc*[27]) der mittlere, überwiegende Teil B (Fig. 285) mit einem gröfseren Halbmeffer $b\,B$ befchrieben würde, als die oberen und unteren kürzeren Bogenftücke A, deren gemeinfchaftlicher Mittelpunkt in a liegt.

209. Statifche Unterfuchung. Ift das gefamte Rippenfyftem eines gotifchen Kreuzgewölbes planmäfsig feftgelegt, ift die Kappenform und die Art der Kappenwölbung, auch die etwaige

[27]) Siehe: VIOLLET-LE-DUC. *Dictionnaire raifonné de l'architecture françaife etc.* Band 4. Paris 1866. S. 29.

zufällige Belaſtung des Gewölbes beſtimmt, ſo ſind zunächſt, den in Art. 196 (S. 320) unter α gegebenen Entwickelungen entſprechend, die von den Gewölbkappen auf die einzelnen Rippenkörper gelangenden Gewichte und Preſſungen zu ermitteln. Sodann ſind die hieraus reſultierenden Kräfte als äuſsere angreifende Kräfte für den Rippenkörper feſtzuſtellen, und endlich iſt unter Berückſichtigung des Eigengewichtes, einſchlieſslich einer vielleicht vorhandenen beſonderen Belaſtung der Rippen, die eigentliche ſtatiſche Unterſuchung des Rippenſyſtems auch unter Beobachtung der gewählten Spitzbogenform doch ihrem Weſen nach ganz in der Weiſe durchzuführen, wie in Art. 134 (S. 235) u. 135 (S. 237) bei der Unterſuchung der Stabilität der Gratbogen cylindriſcher Kreuzgewölbe eingehend angegeben und durch Beiſpiele erklärt iſt.

Fig. 286.



213. Stärke der Rippen.

Ebenſo iſt nach der Beſtimmung des für den Rippenbogen entſtehenden Horizontalſchubes, bezw. Normaldruckes, unter Anwendung der Gleichungen 45 u. 51 (S. 45 u. 46), bezw. der Gleichungen 48 u. 53 (S. 46 u. 47) die Stärke der Rippen bei Anwendung von Quadermaterial oder von Backſteinen zu berechnen.

214. Winddruck.

Unter beſonderen baulichen Verhältniſſen kann aber für die Standfähigkeit der Gewölbrippen oder auch des geſamten Gewölbſyſtems ein ſtarker Winddruck, welcher auf die Flächen der ſeitlichen Begrenzungen der Gewölbanlage gelangt, von nachteiliger Wirkung ſein. Beſtimmt man nach Anleitung von Fig. 286 für die Kappengebiete *E* und *F* mit ihrer Gurtrippe *B* und ihren Diagonalrippen *A* und *C* die für eine zugehörige ſeitliche Begrenzungsfläche in Betracht kommenden Gewölbſchübe, ſo läſst ſich für dieſe den Widerlagskörper *H* des Gewölbes angreifenden Kräfte an ſich ein ſtandfähiges Widerlager ſchaffen. Wirkt nun aber auf dieſen Widerlagskörper von auſsen der Winddruck ein, deſſen reſultierende, winkelrecht zur Seitenfläche des Widerlagers gerichtete Preſſung *W* die aus den Gewölbſchüben entſtehende Mittelkraft an

Gröfse übertrifft, fo wird diefer Ueberfchufs des Winddruckes das Gewölbe in Mitleidenfchaft ziehen und, durch dasfelbe fliefsend, fowohl ein etwa vorhandenes Pfeiler- oder Säulenfyftem, wie auch fchliefslich die andere feitliche Aufsenmauer des Gewölbgebietes befonders beanfpruchen. Während diefes Vorganges erleiden auch die für die Rippen früher ohne Berückfichtigung des Winddruckes etwa gezeichneten Mittellinien des Druckes eine Veränderung, deren gewiffenhafte Beftimmung erft Auffchlufs über die notwendige Stärke diefer Gewölbteile zu geben vermag. Mit diefen Veränderungen der Drucklinien in den Rippen ftehen wiederum Veränderungen in den Kappen und im Stützengebilde der Gewölbanlage in innigem Zufammenhange. Eine durchweg fcharfe und genaue Ermittelung diefer famtlichen Veranderungen ift aber mit fo grofsen Schwierigkeiten verknüpft, dafs man nur durch Näherung einigen Auffchlufs über die erwähnten Einflüffe des Winddruckes auf das Wölbfyftem gewinnen wird. Selbft die Annahme über die Gröfse des in Rechnung zu ftellenden Winddruckes ift noch Schwankungen unterworfen. Der in Deutfchland noch mannigfach angenommene gröfste Wert von 120 kg Druck auf 1 qm einer vom Winde fenkrecht getroffenen Fläche ift neueren Erfahrungen nach bei herrfchenden Stürmen erheblich überfchritten. Immerhin darf der Einflufs des Windes bei Gewölbanlagen zwifchen hohen Begrenzungsmauern nicht aufser acht gelaffen werden. Defshalb ift dahin zu fehen, dafs die dem Gewölbfchube und dem Winddrucke ausgefetzten Begrenzungsmauern der Gewölbanlage zur Erreichung entfprechender Sicherheit an und für fich mit ihren etwa vorhandenen Strebepfeilern, bezw. Strebebogen zunächft vollftändige Standfähigkeit gegen den antretenden gefamten Gewölbfchub befitzen, fodann aber auch eine folche Stärke erhalten, dafs fie fähig find, dem Winddruck allein Widerftand zu leiften, ohne dafs ein nachteiliger, die Gröfse des Gewölbfchubes übertreffender Winddruck durch das Gewölbe felbft auf die übrigen Gewölbftützen oder Widerlager übertragen wird.

Treten Fälle ein, wobei für die Begrenzungsmauern oder für diefe und die Stützen des Gewölbes nur eine Stärke zugelaffen werden kann, welche nicht verhindert, dafs der Ueberfchufs des Winddruckes die Gewölbkonftruktion gleichfam für fich als Laufbahn in Anfpruch nimmt, fo mufs die Stabilitätsunterfuchung der ganzen Anlage durch das Auffuchen derjenigen Drucklinien vorgenommen werden, welche nach Ermittelung der famtlichen fich geltend machenden äufseren Kräfte für die Gewölbrippen, Gewölbkappen und für die Widerlagskörper den erforderlichen Auffchlufs über den Gleichgewichtszuftand des ganzen Syftemes zu geben vermögen.

Die hierzu erforderliche, fehr umfangreiche und in mehr oder weniger hohem Grade doch mit Mängeln behaftete Arbeit kann wefentlich vereinfacht und für die Praxis genügend in abgekürzter Weife ausgeführt werden, fobald man den etwa vorhandenen Ueberfchufs der Gröfse des Winddruckes nur als allein wirkfam für den Gurtbogen *B* (Fig. 286) zwifchen der Kappengruppe von *E* bis *F* betrachtet. Nach diefer Annahme läfst fich das Auffinden der Mittellinie des Druckes in der Gurtrippe *B*, den vorhandenen Gewölbpfeilern, den Widerlagern mit oder ohne Strebepfeilern, bezw. Strebebogen ganz im Sinne des in Art. 28 (S. 73) Vorgetragenen bewirken und hiernach die Stabilität des Baukörpers beurteilen.

Stellt fich bei diefen Unterfuchungen ein nicht gerade fehr günftiger Verlauf der Mittellinien des Druckes, namentlich für die Gewölbpfeiler oder die feitlichen Widerlager, heraus, fo kann man fehr häufig durch das fchon mehrfach erwähnte

Mittel einer geeigneten Uebermauerung des Gurtbogens *B*, unter Beachtung des in Art. 24 (S. 57) Geſagten, einen ſachgemäſsen Verlauf der in Frage kommenden Drucklinien herbeiführen und danach beſondere Vorteile für eine geſicherte Standfähigkeit der einzelnen Bauteile erzielen.

Die äuſserſt mannigfaltig in gröſster Anzahl ausgeführten gotiſchen Kreuzgewölbe zeigen hinſichtlich der Abmeſſungen der Rippenquerſchnitte ſo groſse Verſchiedenheiten, daſs das Aufſtellen empiriſcher Regeln für die Beſtimmung der Stärke der Gewölbrippen zwecklos erſcheinen muſs. Schon die aus architektoniſchen Bedingungen hervorgehende Profilierung der Rippen veranlaſst häufig einen weit gröſseren Rippenquerſchnitt, als die Preſſungen erfordern, welche in Abhängigkeit von einem günſtigen Verlaufe der Drucklinien im Rippenkörper entſtehen. 212. Empiriſche Regeln.

Nimmt man zunächſt eine gewiſſenhaft durchgeführte ſtatiſche Unterſuchung der Gewölbrippen vor und beſtimmt man hiernach, wie in Art. 20 (S. 53), bezw. Art. 134 (S. 235) u. 135 (S. 237) in den Grundlagen angegeben wurde, die Stärke der Rippen, ſo läſst ſich ſchlieſslich, bei Vermeidung einer Herabminderung des berechneten Rippenquerſchnittes, die geplante Profilierung desſelben vornehmen.

Oft ergiebt eine ſolche Unterſuchung allerdings auch ſo geringe Querſchnittsgröſsen, daſs die praktiſche Ausführbarkeit der Rippen gröſsere Abmeſſungen erforderlich macht. Immerhin ſollte dieſe ſtatiſche Unterſuchung nicht ohne weiteres von der Hand gewieſen werden.

Rippen aus Quadern erhalten bei Gewölben mit rund 10^{m} Diagonallänge wohl ungefähr eine Breite von 18, 20 bis 25^{cm} und, einſchlieſslich des Rückenanſatzes, eine Höhe von 25, 30 bis 36^{cm}. Rippen aus Backſteinen oder beſonderen, kleineren oder gröſseren Formſteinen können bei Gewölben mit gleicher Diagonalweite etwa 1 bis $1\frac{1}{2}$ Stein breit und mit dem Rückenanſatze $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein hoch genommen werden.

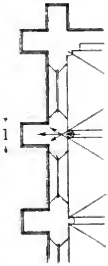
Kleinere Gewölbe zeigen mehrfach ziemlich geringe Rippenquerſchnitte mit 9^{cm} Breite und 15^{cm} Höhe ohne Rückenanſatz. Dieſe Abmeſſungen dürften ſelten noch eine weitere Verminderung erfahren.

γ) Stabilität der Widerlager.

Werden die Umfangsmauern, die hauptſächlichſten Widerlagskörper der Anlage eines gotiſchen Kreuzgewölbes, im Sinne des in Art. 179 (S. 291) Geſagten in einzelnen Stützpunkten, mögen dieſelben durch Strebepfeiler an ſich ſchon verſtärkt ſein oder nicht, durch die Kräfte beanſprucht, welche mit Hilfe der im vorhergegangenen beſprochenen ſtatiſchen Unterſuchung der Gewölbkappen und ihres Rippenſyſtems ihrer Lage, Gröſse und Richtung nach bekannt werden, ſo läſst ſich unter Verwendung dieſer Kräfte die Prüfung der Stabilität der Widerlager einleiten. Sieht man zunächſt von einer beſonderen Verſteifung derſelben durch Strebebogen ab, ſo erfolgt die Fortführung der Stabilitätsunterſuchung und die damit im Zuſammenhange ſtehende Beſtimmung der Stärke der Widerlager unter Anwendung der graphiſchen Statik auf demſelben grundlegenden Wege, welcher in Art. 137 (S. 238) zu gleichem Zwecke beim cylindriſchen Kreuzgewölbe gekennzeichnet iſt. Beim Feſtſtellen der Grundriſsfläche des Widerlagskörpers wird die Grundriſslänge *l* (Fig. 287) unter richtiger Würdigung der geſchaffenen Planlage möglichſt gering gewählt, um hierdurch eine zu Gunſten des Sicherheitsgrades des Stützkörpers angebahnte Verringerung ſeines Gewichtes in Rechnung zu ſtellen. Die 213. Widerlager ohne Strebebogen.

Gewichtsbestimmung, sowie die Darstellung der Mittellinie des Druckes im Widerlagskörper erfolgt in bekannter Weise. Für den Verlauf der Drucklinie ist zu beachten, dass zur Erzielung einer entsprechenden Sicherheit die Querschnittsfläche des Widerlagskörpers diese Linie an jeder Stelle innerhalb des sog. Kernes[28]) des Querschnittes birgt und dass ausserdem eine Gefahr in Rücksicht auf Gleiten ausgeschlossen bleibt.

Fig. 287.



214. Empirische Regel.

Eine hier und dort angegebene empirische Regel, wonach die Stärke der Widerlager zwischen $^1/_4$ bis $^1/_7$ der Spannweite der Gewölbe wechselt, erscheint, ohne eine Rücksichtnahme auf die Höhe des Widerlagers und vermöge der durch die Zahlenwerte angegebenen, weit voneinander abstehenden Grenzen, nicht besonders beachtenswert. Eine leicht zu bewirkende Stabilitätsuntersuchung der Widerlager befreit von den Massnahmen der an sich oft unsicheren empirischen Regeln.

215. Widerlager mit Strebebogen.

Auf etwas anderem, nunmehr zu berücksichtigendem Wege ist die Stabilitätsprüfung der Widerlager vorzunehmen, wenn die in Art. 180 (S. 292) erwähnten Strebe- oder Schwibbogen in Gemeinschaft mit Strebepfeilern als besondere Stützkonstruktionen des eigentlichen Gewölbwiderlagers auftreten sollen.

Das innere Wesen dieser Stabilitätsuntersuchung stimmt mit dem des grundlegenden Falles der Prüfung der Standfähigkeit des gemeinschaftlichen Widerlagers für Tonnengewölbe mit verschiedener Spannweite und ungleich grosser Belastung, welcher in Art. 28 (S. 73) bereits näher behandelt ist, überein. Der meistens in der Form eines einhüftigen Gewölbes erscheinende Strebebogen ändert die Richtschnur des Prüfungsweges nicht. Die Stabilitätsuntersuchung von einhüftigen Gewölben, welche demnach auch hier wieder Berücksichtigung finden muss, ist in Art. 27 (S. 68) erklärt.

Der Gang, welcher bei der statischen Untersuchung der Widerlager mit Strebebogen befolgt werden kann, soll unter Benutzung der Darstellungen auf nebenstehender Tafel besprochen werden.

Der in der lotrechten, als Kräfteebene festgesetzten Symmetrieebene des Widerlagers *G* und des Strebebogens *70* wirkende resultierende Gewölbschub *S* der eigentlichen Gewölbanlage, welcher unter Beachtung des in Art. 209 (S. 338) Gesagten vorweg zu bestimmen ist, vereinigt sich mit dem Gewichte *G* des in seiner Grundrissfläche und Höhenentwickelung im Gewölbplane bestimmten Widerlagskörpers zu einer Mittelkraft *M*. Grösse, Lage und Richtung der letzteren bleiben unveränderlich, sofern der Gewölbschub *S* und das Gewicht *G* keiner Aenderung unterzogen werden. Hiernach ist also der Strahl *Mm*, worin die Mittelkraft *M* wirkt, eine feste Gerade. Schneidet, wie hier der Fall ist, dieser Strahl die als fest und vollständig tragfähig vorausgesetzte Fussebene *mf* der Widerlagsmauer ausserhalb ihrer Grundfläche im Punkte *m*, so wird die Kraft *M* den Widerlagskörper um die Kante *e* drehen.

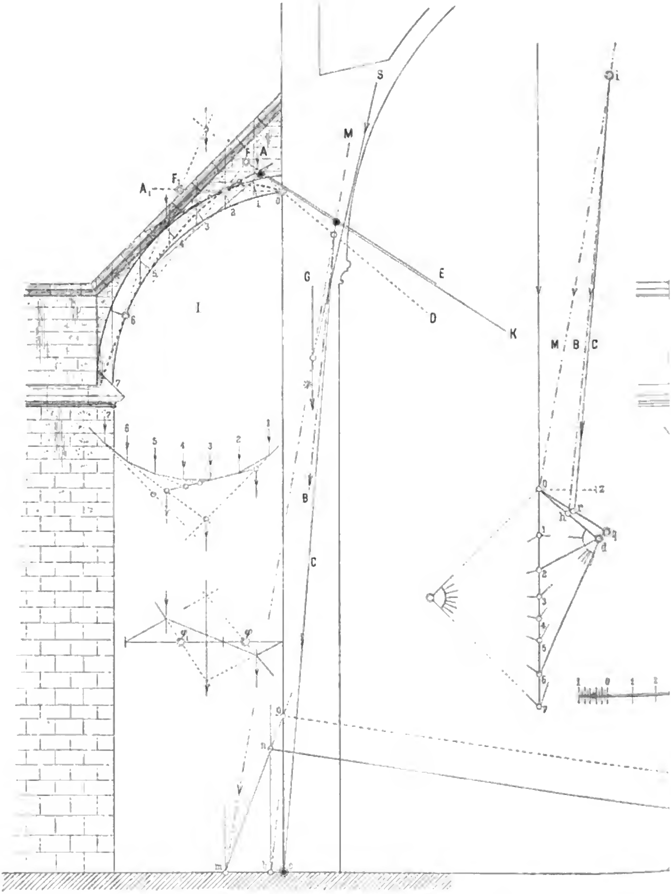
Wird zur Sicherung des Widerlagers gegen Drehung ein Strebebogen *70* mit zugehörigem Strebepfeiler angeordnet, so können die Einflüsse, welche dieser Strebebogen auf das Widerlager ausübt, und umgekehrt, die Einwirkungen, welchen der Strebebogen durch den Gewölbschub *S*, bezw. durch die Mittelkraft *M* unterworfen ist, in geeigneter Weise durch Zeichnung zur Erscheinung gebracht werden.

Zunächst ist die statische Untersuchung des Strebebogens selbst vorzunehmen. Die Tiefe desselben sei gleich 1 m.

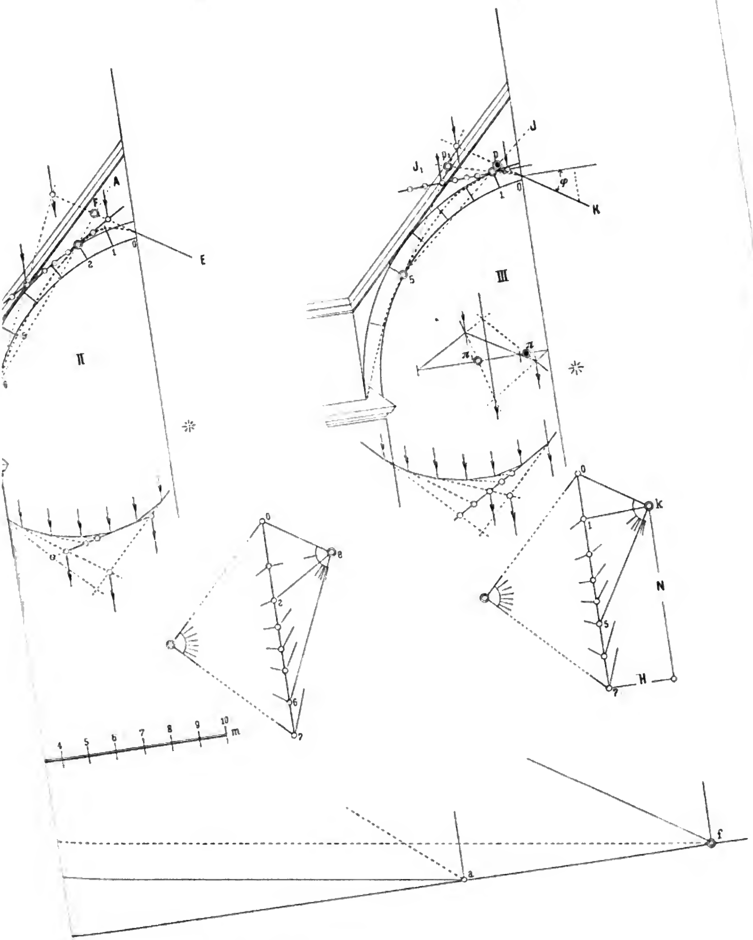
Unter Einführung einer beliebig gewählten Basis $o z = 2$ m ist, entsprechend den Angaben in Art. 27 (S. 68), ein Gewichtsplan *o 7* gezeichnet und unter Anwendung der Polarachsen *6 A* und *o A₁* mit Hilfe der Fixpunkte *F*, bezw. *F₁* die punktiert dargestellte Drucklinie ermittelt, welche einem mög

---

[28]) Siehe: Teil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 112, S. 88; 3. Aufl.: Art. 128, S. 114) dieses »Handbuches«



Statische Untersuchung des Widerlagers



mit Strebebogen für ein Kreuzgewölbe.

lich kleinsten Gewölbschube $D = do$ zukommt. Dieselbe verbleibt ganz in der eigentlichen Gewölbfläche des Strebebogens.

Besitzt der Strebebogen eine gröfsere oder geringere Tiefe als 1 m, so ist der Gewichtsplan *o 7* offenbar nach der Vorschrift in Art. 130 (S. 223) zu zeichnen. Die übrigen Bestimmungen erleiden dadurch im Wesen keine Aenderungen.

Der Gewölbschub *D* wirkt in der Richtung *o D* auf das Widerlager ein. Er vereinigt sich mit *M* zu einer neuen Mittelkraft *B*. Um diese Kraft im vollsten Einklange mit der gewählten Basiszahl $oz = 2^m$ und mit dem Einheitsgewichte des Wölbmaterials des Strebebogens im Kräfteplane als Linie von richtiger Länge darstellen zu können, ist vor allen Dingen die Kraft *M*, welche aus der statischen Untersuchung des Hauptgewölbes und seines zugehörigen Widerlagsstückes hervorgegangen ist, im Kräfteplane in genauer Streckenlänge einzutragen. Ist z. B. die Bestimmung von *M* unter Benutzung einer anderen Basiszahl und unter Berücksichtigung eines vom Einheitsgewichte des Materials des Strebebogens abweichenden Einheitsgewichtes des Materials des Hauptgewölbes oder auch des Widerlagskörpers, wie häufig der Fall ist, erfolgt, so mufs die Länge der Strecke *M* ebenso, wie in Art. 137 (S. 238) z. B. für das Festlegen des Druckes in einem Gratbogen geschehen ist, berechnet werden.

Eine Voruntersuchung und die zugehörige Berechnung haben für *M* eine Strecke von $30{,}40^m$ ergeben. Zieht man im Gewichts-, bezw. Kräfteplane durch *o* den Strahl *i o* parallel zu *M m* und nimmt man die Länge dieses Strahles von *o* aus gleich der für *M* berechneten Strecke, so ist die notwendige Vereinigung von gleichartigen, auf eine und dieselbe Reduktionsbasis *o z* und auf dasselbe Baumaterial zurückgeführten Kräftelinien erreicht. In der Zeichnung ist zur Vermeidung der weit hinaufgehenden Linienstrecke von $30{,}40^m$ ein bestimmter Teil, hier nur die Hälfte $15{,}20^m$ für *i o* aufgetragen, und ebenso ist auch demgemäfs die Strecke *o d* des Schubes *D* in *h* halbiert, wodurch offenbar die Bestimmung der Lage der Mittelkraft *B* aus *M* und *D* nicht beeinflufst wird. Die Gröfse von *B* ist hierbei gleich dem Zweifachen von *i h*.

Führt man im Plane *I* durch den Schnitt des Strahles *D* mit der festliegenden Geraden *M* die Parallele *B b* zu *i h* des Kräfteplanes, so trifft dieselbe die feste Fufsebene *m f* ebenfalls noch in einem aufserhalb der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkte *b*. Hierdurch zeigt sich, dafs der einer Minimaldrucklinie des Strebebogens *7 0* zukommende Gewölbschub *D* vom Gewölbschube *S* des Hauptgewölbes, bezw. von der Kraft *M* noch weit überwunden wird. Der Schub *D* ist noch nicht im stande, den Gleichgewichtszustand des gemeinschaftlichen Widerlagers gegen Drehung hervorzubringen.

Sieht man vorläufig von einem Höherlegen des sonst unverändert zu lassenden Strebebogens an der Widerlagsmauer ab, so folgt weiter, dafs durch die Einwirkung von *S*, bezw. *M* im Strebebogen ein gröfserer Gewölbschub herrschen mufs, wenn derselbe fähig sein soll, das Drehbestreben des Widerlagers zu vernichten.

Zum Aufsuchen dieses gröfseren Schubes im Strebebogen, und zwar zunächst in Rücksicht auf eine Grenzlage, wonach die aus *M* und diesem Schube entstehende Mittelkraft genau durch die äufserste Kante *c* der Grundfläche des Widerlagers geht, ist in Uebereinstimmung mit den Erörterungen in Art. 28 (S. 73) durch die Seilpolygone *m n a* und *m o f* der auch in dem dort Vorgetragenen erwähnte, bedeutungsvolle feste Punkt *f* auf der Fufsebene des Widerlagers ermittelt. Zieht man nun durch *f* und durch den Fixpunkt *F* der unverändert gelassenen Polarachse *A* des Strebebogens einen Strahl *E*, so mufs in demselben ein Gewölbschub herrschen, welcher, wenn mit ihm eine Drucklinie im Strebebogen entsteht, die ganz innerhalb der Gewölbfläche desselben bleibt, in Gemeinschaft mit *M* eine durch die Kante *c* gehende Resultierende liefert.

Im Plane *II* ist Aufschlufs über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche einem in der Richtung *f F* wirkenden Schube *E* von der Gröfse *e o* angehört, gegeben. Die Polarachse *A* mit dem Fixpunkte *F* ist ohne weiteres aus dem Plane *I* übertragen. Die auf bekanntem Wege gezeichnete Mittellinie des Druckes verläfst jedoch die Stirnfläche des Strebebogens oberhalb der Rückenlinie zwischen den Fugen *1* und *2* und unterhalb der Wölblinie in der Nähe der Fuge *5* in merkbarem Abstande. Hieraus folgt, dafs der Gewölbschub $E = eo$ in der angewiesenen Lage und mit der gefundenen Gröfse nicht fähig ist, eine Drucklinie zu erzeugen, welche ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens verläuft. Die eingezeichnete Drucklinie giebt aber einen Anhalt für die Lage der Bruchfugen oberhalb des Stückes *o 2* und in der unteren Kante der Fuge *5*. Berücksichtigt man ferner, dafs unter Beachtung dieser Bruchfugen dennoch im allgemeinen ein noch möglich kleinster Gewölbschub des Strebebogens eintreten kann, welcher, mit der Kraft *M* zusammengesetzt, eine Resultierende giebt, welche durch die Kante *c* der Grundfläche des Widerlagers geht, so hat man nach dem Plane *III* eine neue Mittellinie des Druckes aufzusuchen, welche durch den höchsten Punkt der als Bruchfuge angenommenen Fuge *1*, durch den tiefsten

Punkt der zweiten Bruchfuge *5* zieht, und welche aufserdem einem Gewölbfchube zukommt, deffen Richtung durch den feften Punkt *f* der Fufsebene *mf* geht.

Beftimmt man auf der durch *5* und durch den höchften Punkt der Fuge *1* gelegten Polarachfe *J* nach Art. 27 (S. 68) den Fixpunkt *p* mittels der Projektion π; zieht man im Plane *I*, nachdem auch hier die Lage des Punktes *p* nach Plan *III* eingetragen und ftark ausgeprägt wurde, durch diefen Punkt und durch *f* der Fufsebene *mf* den Strahl *K'*: fo ift alles Notwendige vorhanden, um die zugehörige Mittellinie des Druckes im Plane *III* zeichnen zu können. Für diefelbe ergiebt fich alsdann noch weiter bei der Einführung der nunmehr gleichfalls näher beftimmten zweiten Polarachfe J_1, welche durch den Angriffspunkt der Kraft *K* auf der Fuge *o* und durch den höchften Punkt der Bruchfuge *1* gezogen werden mufs, nebft ihrem Fixpunkte p_1, deffen Projektion in π_1 ermittelt wurde, eine reichliche Zahl von Elementen, welche für die richtige Darftellung diefer Drucklinie benutzt werden können. Diefelbe bleibt noch ganz innerhalb der Wölbfläche des Strebebogens. Die Gröfse ihres Gewölbfchubes *K'* wird im Gewichtsplane der Darftellung *III* als Strecke *ko* erhalten. Ueberträgt man *ko* in Lage und Gröfse nach dem Gewichtsplane der Hauptdarftellung *I* als *qo*, halbiert man, weil *io* die Hälfte der Kraft *M* angiebt, auch *qo* in *r* und zieht man den Strahl *ir*, fo mufs die durch den Schnitt von *K'* mit *M* zu *ir* gezogene Parallele *C* genau durch den Punkt *c* der Kante der Widerlagsfläche gehen. Hierdurch wird bekundet, dafs der Strebebogen, fobald in ihm eine Mittellinie des Druckes verbleibt, deren Gewölbfchub die Lage *K'* annimmt und deffen Gröfse gleich $ko = qo$ ift, fähig wird, den Grenzzuftand des Gleichgewichtes gegen Drehung um die Kante *c* der Grundfläche des Widerlagers herbeizuführen.

Soll der Punkt *c* mehr in das Innere diefer Grundfläche, z. B. bis in den nach *c* zu gelegenen Kernpunkt des Querfchnittes des Widerlagskörpers, gelegt und alsdann eine Prüfung dahingehend angeftellt werden, ob eine Mittellinie des Druckes mit noch gröfserem Gewölbfchub für den Strebebogen möglich ift, wobei die aus *M* und dem neuen Gewölbfchube entftehende Mittelkraft fich durch diefen Kernpunkt legt, fo ift die Durchführung diefer Unterfuchung, unter Ermittelung eines neuen feften Punktes, ftatt des für die Lotrechte *co* beftimmten Punktes *f* in der Ebene *mf*, ganz in dem Sinne des Vorgetragenen zu bewirken.

Ift in jedem einzelnen Falle die dem Gleichgewichte gegen Drehung entfprechende Mittellinie des Druckes gezeichnet, fo ift bekanntlich auch noch zu prüfen, ob diefelbe den allgemeinen Bedingungen für das Gleichgewicht gegen Gleiten entfpricht.

Namentlich kommt nach Plan *III* der Neigungswinkel φ der Kraft *K'* mit der Normalen zur Anfatzfuge *o* des Strebebogens am Widerlager in Betracht. Da diefer Winkel die Gröfse des Reibungswinkels des anzuwendenden Materials nicht überfchreiten darf, fo mufs, wenn die an fich unveränderliche Lage des Gewölbfchubes *K'* eine Ueberfchreitung der Gröfse diefes Reibungswinkels bekunden follte, die Anfatzfuge *o* in ihrer Neigung in dem Mafse abgeändert werden, dafs eine Gefahr durch Gleiten nicht mehr vorhanden ift. Für die übrigen Fugen tritt unter Umftänden gleichfalls die Prüfung auf Gleiten und eine Aenderung der Fugenrichtung zwifchen den Wölbfteinen ein.

Die Stärke des Strebebogens ift nach der Beftimmung des Schubes *K'* mittels des leicht nach Plan *III* zu findenden wagrechten Gewölbfchubes *H*, bezw. des Normaldruckes *N* für die am ftärkften geprefste Fuge auf bekanntem Wege zu berechnen.

Ebenfo macht die Stabilitätsunterfuchung des Strebepfeilers, welcher die Stütze des Strebebogens bildet, beim Bekanntfein des Schubes *K'* keine Schwierigkeiten.

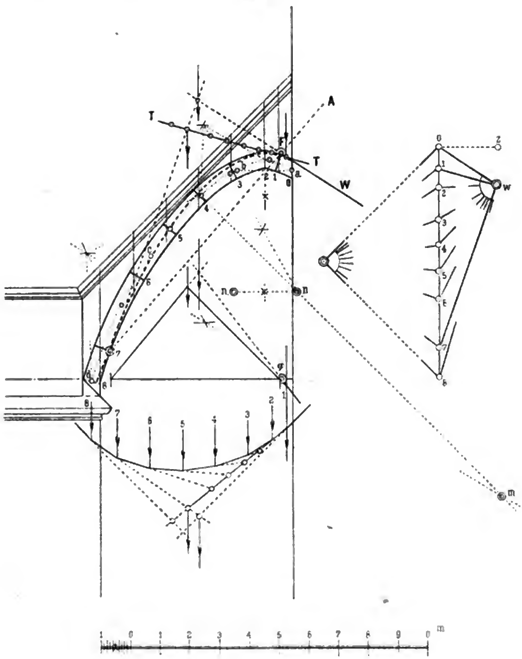
216. Anfatzhöhe der Strebebogen.

Bei der Prüfung der Einwirkungen des Strebebogens auf die Standfähigkeit des gemeinfchaftlich von ihm und vom Hauptgewölbe beanfpruchten Widerlagskörpers war die unveränderliche Anfatzhöhe des Strebebogens geltend gelaffen. Man erkennt aber aus der Darftellung *I* auf der Tafel bei S. 342, dafs bei einem lotrechten Verfchieben des Strebebogens *o7* an der äufseren lotrechten Seite der Widerlagsmauer, ohne eine Umgeftaltung des Strebebogens zu vollziehen, unter Umftänden auch der Gewölbfchub *D*, welcher, einer Minimaldrucklinie angehörend, von allen ermittelten Gewölbfchüben des Strebebogens am kleinften ift, fähig fein kann, bei feiner Zufammenfetzung mit der Kraft *M* eine Refultierende zu liefern, welche durch den Punkt *c* oder, wenn man will, auch durch einen mehr im Inneren der Grundfläche des Widerlagers gelegenen Punkt geht. Denn würde man z. B. durch den Punkt *c* einen Strahl parallel zu *Bb*, bezw. *ih* ziehen, fo müfste, im allgemeinen genommen, diefer Strahl die fefte Linie *Mm* in einem Punkte fchneiden. Legte

man durch diefen Schnitt auf der Geraden *Mm* die Parallele zur Richtung des Schubes *D*, fo würde diefelbe die neue Lage des Anfatzpunktes *o* des Strebebogens am Widerlager bedingen. Im vorliegenden Plane würde der Strebebogen in feiner Gefamtheit höher gerückt werden. Bleibt nun bei diefer Verfchiebung eine durch die Kräfte *S*, *G* und *D* verurfachte Drucklinie ganz in der Fläche des Widerlagskörpers, bezw. innerhalb des Gebietes der Grenzlinien der Kernflächen feines Querfchnittes, fo ift auch hierdurch die Standfähigkeit des Syftems bekundet. Bei vielen Bauwerken der deutfchen und franzöfifchen Gotik findet man fehr hoch an der Widerlagsmauer angefetzte Strebebogen.

Werden zwei übereinander liegende Strebebogen zur Abfteifung eines gemeinfchaftlichen Widerlagers angeordnet, fo läfst fich die zugehörige Stabilitätsunterfuchung eines folchen Baufyftems unter Anwendung der gegebenen Grundlagen fchrittweife, ohne befondere Hinderniffe anzutreffen, ebenfalls vollziehen.

Fig. 288.



217.
Umgestaltung der Strebebogen.

Die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 342 für den Gewölbschub *K* konstruierte Mittellinie des Druckes nähert sich einer Parabel, bezw. einer Korbbogenlinie, bei welcher vom höchsten Punkte der Bruchfuge *1* aus die beiden seitlichen Aeste etwas spitzbogenartig abfallen.

Nimmt man nach Fig. 288 diese Mittellinie des Druckes als Mittellinie *abcd* der Wolbfläche eines Strebebogens an und sucht man, wie leicht geschehen und aus der Zeichnung näher ersehen werden kann, die Mittelpunkte *m* für den Bogen von *d* durch *c* bis zur Fuge *4* und *n*, bezw. n_1, für die durch *b* und *a* gehenden Bogen, so läfst sich mit grofser Genauigkeit der Linienzug *abcd* durch einen am Scheitel spitzbogenförmig zusammentretenden Korbbogen ersetzen. Behält man die im Plane *III* auf der Tafel bei S. 342 für den Strebebogen angenommene Stärke auch in Fig. 288 in der Weise bei, dafs dieselbe je zur Hälfte stets normal zum Korbbogen *abcd* nach oben und unten abgetragen wird, so sind die aus den bezeichneten Mittelpunkten beschriebenen, die Wölbstärke begrenzenden inneren und oberen Wölblinien der Mittellinie *abcd* des Strebebogens konzentrisch.

Läfst man auch die obere Aufmauerung und Abdeckung nicht wesentlich ändern, so entsteht, abgesehen von einer kleinen Vergröfserung der ursprünglichen Spannweite, ein spitzbogenförmiger Strebebogen mit den Schenkeln *o2* und *2S*, dessen Mittellinie eine mögliche Mittellinie des Druckes ist. Derartige Bogen besitzen, wie schon in Art. 8 (S. 13) ausgesprochen ist, einen hohen Grad von Stabilität. Will man für diesen umgeformten Strebebogen eine Mittellinie des Druckes zeichnen, welche einem möglich kleinsten Gewölbschube $W = wo$ angehört, so sind unter Befolgung der Angaben in Art. 27 (S. 68) die erforderlichen, auch aus Fig. 288 zu ersehenden Mafsnahmen zu treffen. Die entstehende Drucklinie ist stark punktiert eingetragen.

Bemerkt sei, dafs Strebebogen mit einem gröfseren und einem verhältnismäfsig kurzen Schenkel als Spitzbogen mit einer der hier gefundenen sehr ähnlichen Form bei Bauwerken des Mittelalters angetroffen werden.

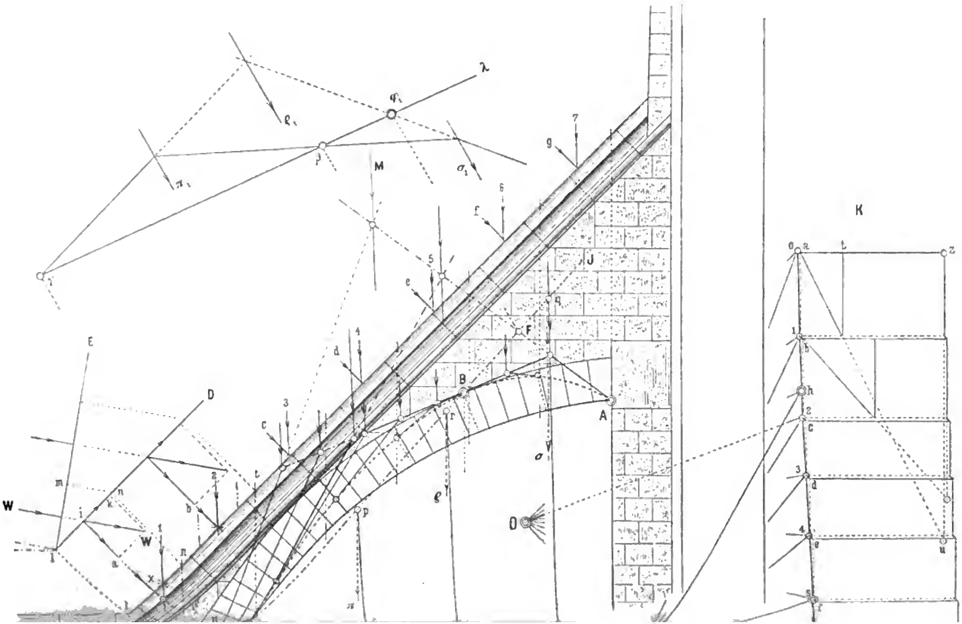
218.
Winddruck bei Strebebogen.

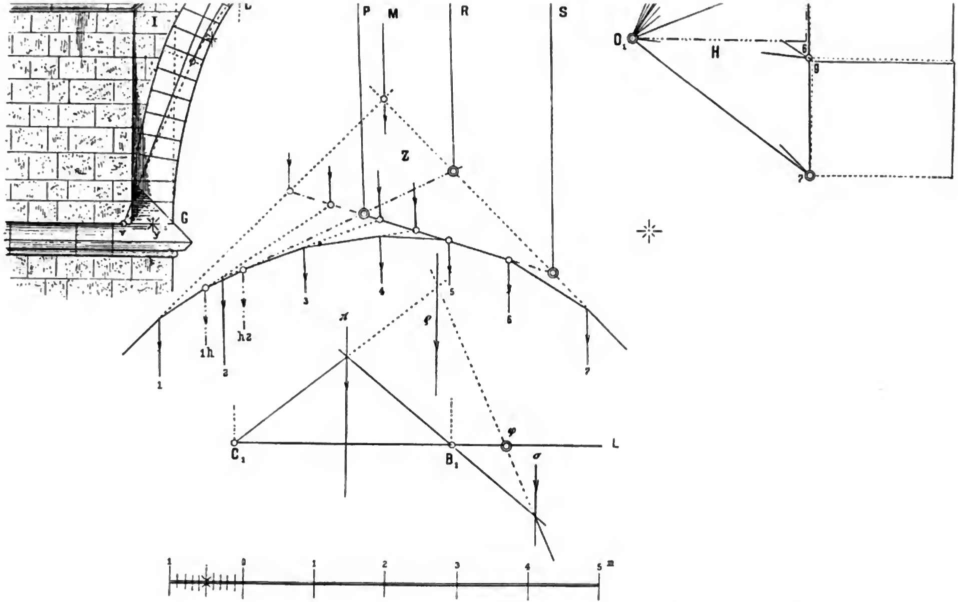
In Art. 27 (S. 68) ist schon die Bemerkung gemacht, dafs bei den meistens als einhüftige Gewölbstücke ausgeführten Strebebogen der Kreuzgewölbe noch der Winddruck, welcher die Rückenfläche dieser Bogen trifft, bei ihrer Stabilitätsuntersuchung in Frage kommen kann.

Die Lösung der Aufgabe, die Prüfung der Stabilität eines Strebebogens mit Hilfe der graphischen Statik vorzunehmen, sobald aufser seinem Eigengewichte noch die Einwirkung eines gröfseren Winddruckes in Bezug auf seine Rückenfläche zu berücksichtigen ist, soll nach nebenstehender Tafel in ihren Hauptpunkten gezeigt werden.

Zunächst ist das Gewölbe des übermauerten und mit Platten abgedeckten Strebebogens *GA*, dessen Tiefe gleich 1 m sein möge, unter Annahme gleichen Materials nach bekannten Gesichtspunkten in schmale Teilstreifen, hier 7, zerlegt. Die einzelnen lotrechten Teillinien bestimmen auf der Rückenfläche der Abdeckung des Bogens die Gröfse der für jeden Teilstreifen in Rechnung zu stellenden, vom Winddruck beanspruchten Fläche. Für den Streifen *I* würde eine Länge *ln*, für den daneben liegenden Streifen *II* eine Länge *nt* u. s. f. dieser Fläche entstehen. Projiziert man diese Längen, wie bei *D* und *E* geschehen, auf eine zur Windrichtung *W* senkrecht stehende Ebene *E*, so erhält man bei der gegebenen Breite der gedrückten Fläche ihre für die Berechnung des Winddruckes *W* in Bezug auf die Ebene *E* zu benutzende Höhe *lm* u. s. f. Ist allgemein *b* Met. die Breite, *h* Met. die Höhe dieser Fläche und *p* Kilogr. der in der Ebene *E* herrschende Winddruck für eine Flächeneinheit, so ist $W = bhp$ Kilogr. In der Zeichnung ist $lm = h = 0{,}90$ m. Die Breite *b* der gedrückten Fläche beträgt der Annahme nach 1 m. In Rücksicht auf die Gewalt, welche bei starken Stürmen an hoch gelegenen Mauerwerkskörpern, wozu die Strebebogen

Zu S. 346.





Statiſche Unterſuchung eines Strebebogens unter Berückſichtigung des Winddruckes.

meiftens zu zählen find, ausgeübt wird, möge $p = 300$ kg für 1 qm gerechnet werden. Hiernach wird $W = 1 \cdot 0{,}90 \cdot 300 = 270$ kg. Für den Strebebogen kommt die fenkrecht zu feiner Rückenebene D wirkende Seitenkraft ia in Frage[29]). Diefelbe ergiebt fich zu 216 kg.

In gleicher Weife find die Drücke b, c, d u. f. f. des Windes für die übrigen Teilftreifen beftimmt. Diefe Drücke fetzen fich mit den Gewichten ihrer zugehörigen Teilftreifen zu einzelnen Mittelkräften zufammen. Im Kräfteplane K find diefelben unter Anwendung einer Bafis $az = 2$ m als $o1$, 12 u. f. f. bis 7 zu einem Kräftepolygonzuge vereinigt.

Hierbei ift jedoch die Länge der Kräfteftrecken für den Winddruck, welcher in Kilogramm ausgedrückt ift, durch die Abmeffung x Met. Höhe eines Steinprismas darzuftellen, welches dasfelbe Einheitsgewicht, als das Material des Strebebogens befitzt, deffen rechteckiger Querfchnitt eine Breite von ftets gleich 1 m, fonft aber eine Länge gleich der gewählten Mafszahl 2 m der Bafis az des Gewichtsplanes K erhält.

Wiegt 1 cbm des Wölbmaterials 2400 kg, fo ift hiernach die Strecke oa des Planes K, welche die Gröfse des fenkrecht auf der Rückenfläche des Teilftreifens vorhandenen Winddruckes gleich 216 kg angeben mufs, mittels des Ausdruckes

$$x \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2400 = 216$$

als $oa = x = 0{,}045$ m. Die Linie oa, parallel zu ia gezogen, hat diefe Länge erhalten. Mit derfelben wurde das Gewicht $a1$ des erften Teilftreifens I, deffen Breite als $a1$, deffen mittlere Höhe als $xy = zu$ gegeben ift, nach bekannter Reduktion auf die Bafis az, zu der Refultierenden $o1$ zufammengefetzt. In ganz gleicher Weife find alle übrigen Teilftreifen behandelt.

Im Plane des Strebebogens find die für die einzelnen Teilftreifen aus Winddruck und Gewicht entftehenden Mittelkräfte als 1 parallel $o1$, 2 parallel 12 u. f. f. ihrer richtigen Lage nach gezeichnet, und es ift für diefelben unter Benutzung des Poles O das Seilpolygon Z feftgelegt. Nach einer vorläufigen Prüfung über den Verlauf einer Mittellinie des Druckes, welche unter der Einwirkung der ermittelten, im allgemeinen in nicht paralleler Lage auftretenden Kräfte für den möglich kleinften Gewölbfchub des Strebebogens entfteht, find in A, B und C Punkte von Bruchfugen erhalten. Diefe können für die weitere Durchführung der graphifch-ftatifchen Unterfuchung zunächft benutzt werden.

Bei der Anwendung der fog. Fixpunktmethode find entweder durch B und C oder durch B und A Polarachfen zu führen. Hier ift durch die Punkte B und C eine Polarachfe J gelegt. Für das Stück AB des Strebebogens ergiebt fich mit Hilfe des Seilpolygons Z eine refultierende Kraft S gleich und parallel der Verbindungsgeraden 5 bis 7 im Kräfteplane K. Für das Stück CB ift P die Refultierende, parallel und gleich der Verbindungsgeraden h bis 5 im Plane K. Die Mittelkraft R aus P und S ift parallel und gleich einer Geraden mit den Endpunkten h und 7 des Gewichtsplanes K. Um für die einander nicht parallelen Kräfte P und S mit ihrer Mittelkraft R ein Seilpolygon durch die gegebenen Punkte A, B und C zu legen, kann man zur Beftimmung des Fixpunktes F auf der Polarachfe J das folgende Verfahren einfchlagen.

Man bringt die Strahlen P, R und S mit der Polarachfe J in p, r und q zum Schnitt. Zerlegt man die Kräfte P, R, S in diefen Punkten einzeln in Seitenkräfte, in die Gerade CJ fallend und fonft parallel zu einer beliebig gewählten Achfe CC_1 genommen, fo mögen die Geraden π, ρ und σ, nunmehr einander parallel, die zuletzt genannten Seitenkräfte enthalten. Projiziert man die Punkte B gleichfalls parallel zu CC_1 auf eine beliebig von C_1 ausgehende, jedoch die Strahlen π, ρ und σ fchneidende Achfe L, fo läfst fich ganz auf dem in Art. 27 (S. 68) angegebenen Wege auf der Achfe L die Projektion φ des gefuchten Fixpunktes F ermitteln.

Projiziert man φ parallel zu CC_1 nach F auf J, fo ift nunmehr wiederum ganz im Sinne von Art. 27 (S. 68) die Mittellinie des Druckes für den Strebebogen GA zu beftimmen.

Hätte man das Auffinden des Fixpunktes F unter Benutzung der Achfen $C\gamma$ und $\gamma\lambda$ bewirken wollen, fo find die Seitenkräfte von P, R und S, welche nicht in die Polarachfe CJ fallen, von p, r und q aus parallel $C\gamma$ als π_1, ρ_1 und σ_1 feftzulegen und B parallel $C\gamma$ auf λ nach β zu projizieren, um alsdann in üblicher Weife auch den Punkt φ_1 auf λ als Projektion von F zu erhalten.

Wird ftatt der durch B und C gelegten Polarachfe J eine durch A und B geführte Gerade als Polarachfe angenommen, fo ift das Auffinden des auf diefer Achfe gelegenen Fixpunktes ganz nach den für die Polarachfe J gegebenen Grundlagen vorzunehmen.

Der aufgefundenen Mittellinie des Druckes gehört im Punkte B der Gewölbfchub $O_1 5$, bezw. $5 O_1$ an. Für die Berechnung der Stärke des Strebebogens ift die wagrechte Seitenkraft H von $O_1 5$, bezw.

[29]) Siehe: Teil I, Band 1, zweite Hälfte, 2. Aufl. (Art. 27, S. 21; 3. Aufl.: Art. 29, S. 22) diefes »Handbuches«.

der leicht zu ermittelnde Normaldruck für die am ftärkften geprefste Wölbfuge in bekannter Weife zu verwerten.

Die punktiert eingetragene Mittellinie des Druckes ABC u. f. f. durchfchneidet die Rückenlinie des Strebebogens in der Nähe und in geringer Höhe über der Widerlagsfuge G. Ihr Endpunkt v liegt bereits im Körper des für den Strebebogen erforderlichen Strebepfeilers. Will man diefe Lage von v nicht als gerade günftig anfehen, fo kann man fachgemäfs die Stärke des Strebebogens nach dem Widerlager zu etwas über v hinaus vergröfsern.

219.
Gewölbpfeiler.

Die Gewölbpfeiler, Mittel- oder Zwifchenpfeiler, bilden die Stützen für aneinander gereihte Gewölbanlagen. Sie haben den Gewölbfchub von den in gröfserer Zahl am Pfeiler zufammentretenden oder fich anfchmiegenden Rippenkörpern aufzunehmen. Heben fich die wagrechten Seitenkräfte der fämtlichen Gewölbfchübe auf, vereinigen fich alle lotrechten Seitenkräfte derfelben zu einer Mittelkraft, welche mit der lotrechten Achfe des zugehörigen Pfeilers ganz oder nahezu zufammenfällt, fo hat der Querfchnitt des Pfeilers nur eine folche Gröfse nötig, dafs unter Berückfichtigung feines eigenen Gewichtes der Pfeiler nicht zerdrückt, bezw. nicht zerknickt wird. Diefe durch die gefamte Gewölbanlage bedingte günftigfte Beanfpruchung der Pfeiler tritt aber infolge der in mannigfaltigem Wechfel ftattfindenden Gewölbdurchbildung im ganzen felten ein. Die Gewölbfchübe der Gurt-, Scheide-, Kreuz-, Zwifchenrippen u. f. f. wirken meiftens in fich kreuzenden geraden Linien, liefern alfo, wie fchon in Art. 174 (S. 287) erwähnt ift, ein im Raume gelegenes Kräftefyftem, welches im wefentlichen nur zu einer Mittelkraft und zu einem refultierenden Kräftepaar vereinigt werden kann. In folchen Fällen hat, in ftatifcher Beziehung genommen, der Pfeiler, oft am zweckmäfsigften und einfachften unter Einführung befonderer Uebermauerung der Rippen- oder Kappenkörper, bezw. einer ihn felbft treffenden Aufmauerung, ohne einen übertrieben grofsen Querfchnitt zu erhalten, eine Geftaltung zu erfahren, welche eine Vernichtung des erwähnten Kräftepaares herbeiführt und welche zuläfst, dafs die nun verbleibende Mittelkraft der Gewölbfchübe, mit dem Eigengewichte des Pfeilers vereint, einen günftigen Verlauf der Drucklinie im Pfeilerkörper hervorruft. Die hier erwähnte Uebermauerung wird als vorzügliches Hilfsmittel meiftens Platz greifen müffen, fobald durch die Ausmittelung der Gewölbfchübe eine ungünftige Beanfpruchung der Gewölbpfeiler erkannt wird, da das Umformen der Gewölbrippen nach höher oder geringer auffteigenden Bogenlinien, wodurch gleichfalls günftige Wirkungen für die Pfeiler erzielt werden können, aus Rückficht auf die architektonifche Durchbildung der Gewölbanlage in der Regel auszufchliefsen ift.

Eine forgfältig durchgeführte ftatifche Unterfuchung der Gewölbkappen und des Rippenfyftems lehrt die Kräfte kennen, welche den Gewölbpfeiler treffen. Ihre Vereinigung zu einer gemeinfchaftlichen Mittelkraft allein oder zu einer Mittelkraft nebft einem refultierenden Kräftepaare läfst fich nach den Lehren der Statik unmittelbar bei der Stabilitätsunterfuchung der Pfeiler in den Vordergrund bringen. Durch ihre Verbindung mit den Gewichten der nach Lage und Gröfse geeignet gefchaffenen Uebermauerungen der Gewölbe, namentlich der trichterartigen Gewölbzwickel über den Pfeilern oder einzelner Rippen in der Nähe ihrer Anfätze am Pfeiler, lafst fich bei einiger Ueberlegung von Fall zu Fall eine auf elementarem, wenn auch etwas langem Wege zu verfolgende Prüfung der Stabilität diefer Gewölbpfeiler vornehmen.

9) Ausführung der gotifchen Kreuzgewölbe.

Für die praktifche Ausführung der gotifchen Kreuzgewölbe, fowohl der einfachen, als auch der Stern- oder Netzgewölbe ift unter 7 (S. 295) fchon eine gröfsere Zahl von wichtigen Anhaltspunkten gegeben, welche namentlich für die zwifchen felbftändigen Rippen zu wölbenden Kappen zu beachten find. 220. Ausführung.

Eine befondere Ausführung der Kappen macht fich dagegen bei einer Gruppe von Kreuz-, befonders Netzgewölben ohne felbftändig hergerichtete Rippenkörper geltend, welche den Namen »Zellengewölbe« führen. Die Laibungsflächen diefer Gewölbe gehören geraden Kegelflächen an, deren Bafis-, bezw. Leitlinien die Rippenlinien enthalten. Die Kegelflächen durchfchneiden fich in den von den einzelnen Grat- oder Rippenkanten begrenzten Kappengebieten nach einer befonderen Firft- oder Zellenkante, welche in Gemeinfchaft mit den beiden von den Rippenlinien fattelförmig auffteigenden Wölbflächen die Geftaltung von falten- oder zellenartigen Gewölbkappen bedingt. Hierbei find für jede Rippenlinie zwei gerade Kegelflächen vorhanden, welche in diefer Linie eine gemeinfame Leitlinie befitzen. Die Spitzen diefer Kegel liegen auf den in einer einzigen Geraden zufammenfallenden Kegelachfen fymmetrifch zur Ebene der Rippenlinie, und zwar rechts und links in einem dem Halbmeffer der Bafislinie gleichen Abftande. 221. Zellengewölbe.

Dafs das Verhauen der als Wölbfteine benutzten Backfteine bei den fog. rippenlofen Gewölben thunlichft zu vermeiden ift, läfst fich bei den vorzugsweife in den Oftfeeländern während des Mittelalters ausgeführten Zellengewölben, deren Kappen felbft bei einer reichen Durchbildung[30]) im allgemeinen nach geraden Kegelflächen angeordnet find, erkennen. Da die Stellung der fchmalen Wölbfchichten in jedem einer einzelnen Rippenlinie angehörenden Kappengebiete in den Lagerflächen nach Normalebenen zur gemeinfchaftlichen Bafislinie (Rippenlinie) der beiden erwähnten Kegelflächen äufserft einfach erfolgen kann, da aufserdem die Lagerkanten alsdann Seitenlinien diefer Kegel bleiben; fo fchliefsen die für fich zufammentretenden Lagerkanten vermöge der vorhin bezeichneten fymmetrifchen Anordnung der Kegelfpitzen an jeder Stelle eines Normalfchnittes am Rippenbogen einen rechten Winkel ein. Ein befonderes Zufchärfen oder ein umftändliches Verhauen der Backfteine ift alfo im Gegenfatz zur Einwölbung auf Schwalbenfchwanzverband nicht erforderlich.

Da die Anwendung der Zellengewölbe bei Deckenbildungen der Neuzeit nicht auszufchliefsen ift, fo foll für die Geftaltung und Einwölbung diefer intereffanten Gewölbe in Fig. 289 das Nähere angegeben werden. Der im Grundrifs quadratifch genommene Raum *a b c d* ift durch die ftark ausgezogenen Rippenlinien *a e*, *a h* u. f. f. nebft den Scheitellinien *e g*, *h f* zunächft im Sinne von Art. 167 (S. 276) mit einer einfachen Netzgewölbbildung verfehen.

Die fämtlichen Rippenlinien *a e*, *a h* u. f. f. find beliebige Kreisbogen *B* mit gleichem Halbmeffer βa. Die Randbogen *a b*, *b c* u. f. f. find Spitzbogen mit Schenkeln *A*, deren Halbmeffer αb gleichfalls beliebig angenommen ift.

Die Mittelpunkte α, β diefer Bogen liegen hier in der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Für das Kappengebiet *b f q* treten zwei gerade Kegelflächen mit der Leitlinie *A* für *b q* und der Leitlinie *D* für *b z* mit dem Halbmeffer δb gleich βa des Bogens *B* zufammen. Die Spitze des Kegels für *b q* ift *S* im Lote αS auf *b c*, wobei $\alpha S = \alpha b$, während die Spitze des Kegels für *b f* der Punkt S_1 des Lotes δS_1 auf $b \delta$ ift. Auch hierbei mufs $\delta S_1 = \delta b$ genommen werden.

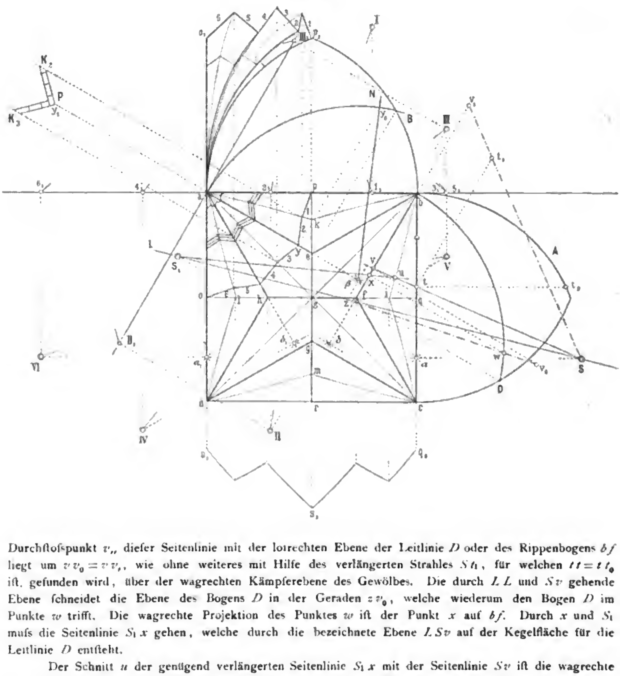
---

30) Siehe auch: Bisanz. Studie über ein Zellengewölbe. Allg. Bauz. 1888, S. 30

Beide Kegelflächen, deren Leitlinien A und D hier verfchiedene Halbmeffer befitzen, durchfchneiden fich nach einer in der wagrechten Projektion dargeftellten Linie $b\,i$, welche die Grundrifsprojektion der Zellenkante der Kappe $b\,f\,q$ liefert. Die Linie $b\,i$ ift im vorliegenden Falle noch in einzelnen Zwifchenpunkten, wie z. B. in u, näher zu beftimmen. Verbindet man die Spitzen S und S_1 der beiden für A und D in Betracht kommenden Kegelflächen durch eine Gerade $L\,L$, fo kann diefelbe als Drehungsachfe einer Ebene angefehen werden.

Von den unendlich vielen Lagen, welche die um $L\,L$ gedrehte Ebene annehmen kann, fchneiden mehrere der Reihe nach die beiden Kegelflächen nach Seitenlinien. Diefe ergeben für die zugehörige Ebene in ihrem Schnitte je einen Punkt der Durchdringungslinie der Kegelflächen. So ruft eine um $L\,L$ gedrehte Ebene auf der Kegelfläche A eine Seitenlinie, deren wagrechte Projektion $S\,v$ ift, hervor. Der

Fig. 289.



Durchftofspunkt $v_{,,}$ diefer Seitenlinie mit der lotrechten Ebene der Leitlinie D oder des Rippenbogens $b\,f$ liegt um $v\,v_0 = v\,v_{,,}$, wie ohne weiteres mit Hilfe des verlängerten Strahles $S\,t_1$, für welchen $t\,t = t\,t_0$ ift, gefunden wird, über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Die durch $L\,L$ und $S\,v$ gehende Ebene fchneidet die Ebene des Bogens D in der Geraden $z\,v_0$, welche wiederum den Bogen D im Punkte w trifft. Die wagrechte Projektion des Punktes w ift der Punkt x auf $b\,f$. Durch x und S_1 mufs die Seitenlinie $S_1\,x$ gehen, welche durch die bezeichnete Ebene $L\,S\,v$ auf der Kegelfläche für die Leitlinie D entfteht.

Der Schnitt u der genügend verlängerten Seitenlinie $S_1\,x$ mit der Seitenlinie $S\,v$ ift die wagrechte Projektion eines Punktes der Zellenkante $b\,i$. In gleicher Weife können beliebig viele Punkte der Grundrifsprojektion diefer Zellenkante beftimmt werden.

Den Kappengebieten innerhalb des regelmäfsig geftalteten Netzes $a\,e\,b\,f\,c\,g\,d\,h$ gehören gerade Kegelflächen mit vollftändig gleichen Leitlinien (Rippenlinien) an. Die wagrechten Projektionen der aus

dem Durchfchneiden der einzelnen Kegelflächen entftehenden Zellenkanten werden gerade Linien *a s*, *b s* *c s* und *d s*, welche im vorliegenden Falle als Halbierungslinien der Winkel *e a h*, *e b f* u. f. f. mit den Diagonalen des Grundriffes zufammenfallen.

Sind die fämtlichen Grundrifsprojektionen der Zellenkanten eingetragen, fo laffen fich die Lagerkanten der Wölbfchichten der einzelnen Kappen mit Hilfe der wagrechten Projektionen der Spitzen der Kegelflächen, welche für die Gewölbkappen mafsgebend geworden find, im Grundrifs feftlegen.

So ift zur Erfüllung der Vorfchrift, wonach die Lagerflächen der Wölbfchichten eines Kappengebietes, welches für eine einzelne Rippenlinie in Betracht kommt, ftets Normalebenen zu diefer Rippenlinie angehören follen, für einen Punkt y_0 einer Wölbfchicht am Rippenbogen B eine Normalebene mit der Aufrifsfpur βN und der wagrechten Spur $II \beta III$ beftimmt.

Letztere bleibt für alle Normalebenen des Bogens B unverändert.

Den zufammengefügten Kappenflächen *a k e* und *a s e* entfpricht diefelbe Leitlinie B, befchrieben mit dem Halbmeffer βa. Für das Stück *a k e* ift die Spitze des zugehörigen geraden Kegels der Punkt II, welcher auf der wagrechten Spur $II \beta III$ der Normalebene βN im Abftande βII gleich dem Halbmeffer βa des Bogens B liegt. Die Gerade βII ift die Kegelachfe. Ebenfo ift $\beta III = \beta II = \beta a$ die Kegelachfe für das Kappenftück *a s e* und III die Spitze der zugehörigen Kegelfläche. Die Grundrifsprojektion des Punktes y_0 ift y. Zieht man durch y von II aus den Strahl $y\,2$ im Kappenftücke *a k e* und ebenfo von III aus den Strahl $y\,3$ im Kappenftücke *a s e*, fo find in den Linien 2 und 3 die wagrechten Projektionen der Lagerkanten einer Wölbfchicht der Normalebene $y_0 N$ gefunden. Ift nun der Bogen B mit den Teilpunkten der einzelnen Wölbfchichten nach den Backfteindicken verfehen, fo kann, unter Verfolgung des für den Punkt y_0 angegebenen Weges, die gefamte Schar der Lagerkanten der Wölbfteine des Kappengebietes *a k e s a* gezeichnet werden.

Die wirkliche Geftalt des Normalfchnittes βN ift im Plane P dargeftellt. In demfelben ift $a y_1 = \beta y_0 = \beta a$. Die Lagerkante $y_1 K_2$ geht erweitert durch den Punkt II_1, während die Lagerkante $y_1 K_3$ nach III_1 gerichtet ift. Da $a y_1 = a II_1 = a III_1$ ift, fo fteigen die Kanten $y_1 K_2$ und $y_1 K_3$ unter 45 Grad zur lotrechten Ebene $a y_1$ des Rippenbogens B an, bilden alfo in y_1 einen rechten Winkel $K_2 y_1 K_3$.

Um den Zug der Lagerkanten 2 und 3 für die übrigen angrenzenden Kappengebiete *a k p*, *a s h*, *a h l* und *a l o* im Grundrifs fortfetzen zu können, hat man nach den gegebenen Entwickelungen nur nötig, die Achfen und Spitzen der entfprechenden Kegelflächen in der Grundrifsprojektion zu beftimmen.

So erhält man für das Stück *a k p* die Gerade $1, I = 1, a = b a$ als Kegelachfe und I als Kegelfpitze. Zieht man vom Schnitte der Kante 2 mit der Zellenkante *a k* aus den Strahl 1 nach I, fo ift die wagrechte Projektion der Lagerkante 1 im Gebiete *a k p* im Zufammenhange mit dem Zuge 2, 3 erhalten. Für die Lagerkante 4 ift IV, für 5 ift V und für 6 ift VI, wie aus der Zeichnung fofort entnommen werden kann, grundlegend zu machen.

Die Aufrifsprojektion $p, 1\,2\,3\,4\,5\,6\,o$, des bezeichneten Zuges der zufammengehörigen Lagerkanten ergiebt fich unter Benutzung der Aufrifsprojektionen der einzelnen Kegelfpitzen $1,$, 2, u. f. f. bis 6, nach Mafsgabe der Zeichnung, welche alsdann auch die eigentümliche, aber fehr einfache Zellenbildung des Gewölbes noch näher erkennen läfst.

Da alle in Anwendung kommenden Kegelflächen vollftändig beftimmt find, fo können auch die Austragungen der in der lotrechten Ebene *o q* enthaltenen Kegelfchnitte im Zuge *o, s, q,* und fomit die wirklichen Bildungen der Zellenkanten über *o h*, *h f* und *f q* leicht vorgenommen werden.

Die gegebenen Regeln für die Geftaltung der Zellengewölbe über quadratifchem Grundrifs finden auch Anwendung bei rechteckigen, regelmäfsigen oder unregelmäfsigen Grundriffen.

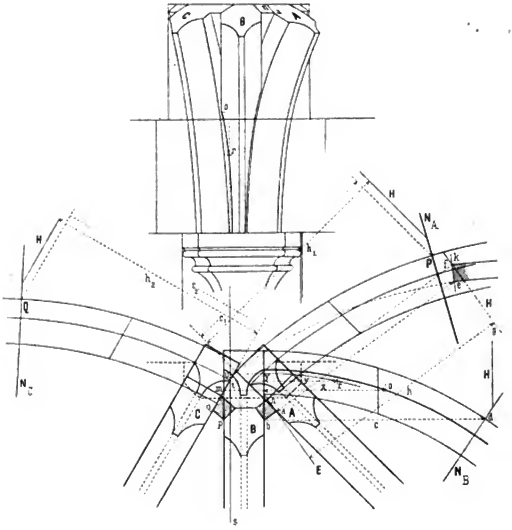
Für die Ausführung diefer Gewölbe find vorzugsweife Backfteinmaterial und gut bindender Mörtel zu benutzen. Lehrbogen find nur für die Rippen-, bezw. Randbogen nötig. Die Kappen werden freihändig gemauert, und hierbei ergeben fich die Zellenkanten ohne weiteres. Ueber den Zellenkanten läfst man die einzelnen Schichten, fo lange fie noch unter einem Winkel zufammenftofsen, welcher ihr Ineinandergreifen geftattet, nach Art des Schwalbenfchwanzverbandes vermauern, während bei einem faft nach gerader Linie erfolgenden Zufammentreten der Schichten nur das einfache Zufammenftofsen der Steine vorgenommen wird.

Die Gewölbanfätze an den Ecken des Raumes werden am zweckmäfsigften als

Quaderanfänger, etwa mit einer Höhe von 1,00 bis 1,50 m über der Kämpferebene aufhörend, angefertigt. Die Stärke der Zellengewölbe beträgt meiſtens nur ½ Backſtein. Zur Vermeidung ſehr weit geſpannter Zellenkappen, welche, abgeſehen von der Einführung einer gröſseren Stärke, ein bedeutendes Auseinanderlaufen der Lagerkanten veranlaſſen, iſt das Syſtem der Rippenlinien ſo anzuordnen, daſs verhältnismäſsig kleine Zellengebiete entſtehen.

222 Gewölbkappen. Als Wölbmaterial für die Kappen dienen von den künſtlichen Bauſteinen hauptſächlich gute Backſteine, voll oder durchlocht, ferner ſog. poröſe Backſteine

Fig. 290.



von nicht zu geringer Feſtigkeit und auſserdem die ſehr geſchätzten, meiſtens 25 cm langen, 12 cm breiten und 10 cm dicken, bei Andernach am Rhein angefertigten ſog. Schwemmſteine.

Von den natürlichen Baumaterialien gelangen leichtere Sand- und Kalkſteine, kryſtalliniſche Schiefergeſteine und die Tuffe, ſobald damit ein freihändiges Wölben möglich iſt und ihre Anſchaffung billiger wird als die der Backſteine, zur Verwendung.

Als Bindemittel dient guter Kalkmörtel oder ein ſorgfältig zubereiteter, verlängerter Zementmörtel.

223. Rippen.

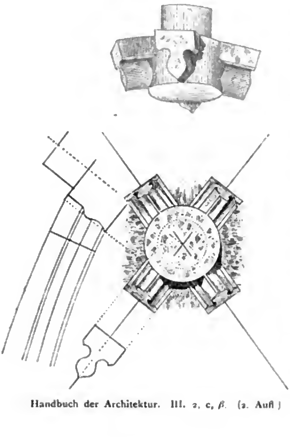
Für die Rippen find ftets, mögen diefelben aus Backfteinen oder aus Werkftücken ausgeführt werden, Lehrbogen zur Unterftützung aufzuftellen. Letztere find möglichft einfach, jedoch in fich kräftig und tragfähig nach den im allgemeinen auch hier geltenden Leitfätzen in Art. 33 (S. 80) herzurichten und fachgemäfs zu unterlagern. Ift für ein ausgedehnteres Rippenfyftem eine Vereinigung mehrerer Lehrbogen erforderlich, welche das Aufftellen eines Mönches oder Mäklers bedingen, fo ift das in Art. 146 (S. 245) in Bezug auf die Lehrbogen der Grate cylindrifcher Kreuzgewölbe Gefagte zu beachten.

Die Einrüftung und Ausführung der Rippen mufs ftets für eine gröfsere Zahl, mindeftens drei, der benachbarten Gewölbfelder vorgenommen werden; auch ift forgfältig durch Anbringen von Abfteifungen das Verfchieben der Rippen, bezw. der Gewölbteile, fobald das Einwölben der Kappen beginnt, in den noch nicht mit Wölbung zu fchliefsenden Feldern zu verhüten. Rippen aus Werkftücken erhalten eine Länge von $0{,}50$ m bis etwa $1{,}00$ m. Die Anfänger zufammentretender Werkfteinrippen find zweckmäfsig aus einem gröfseren Quader herzuftellen, an welchem in geeigneter Weife die Rippen- und auch die Kappenanfätze angearbeitet werden. In Fig. 290 ift ein folcher Anfänger für eine Querrippe *B* und zwei Kreuzrippen *A* und *C*, welche von der Umfangsmauer eines Gewölbes ausgehen, in zwei übereinander liegenden Schichten gegeben.

Die untere Schicht ift durch wagrechte Lagerflächen begrenzt, während die zweite Schicht in der oberen Abgrenzung eine wagrechte Lagerfläche *H* im Abftande $h = h_1 = h_2$ über der Kämpferebene und die für die einzelnen Rippen nach Normalebenen N_A, N_B, N_C beftimmten Anfatzflächen der Rippen *A*, *B*, *C* und Kappenanfätze, wie *n*, zeigt. Die Ausmittelung diefer Anfatzflächen kann ohne Schwierigkeit unmittelbar aus der Zeichnung entnommen werden.

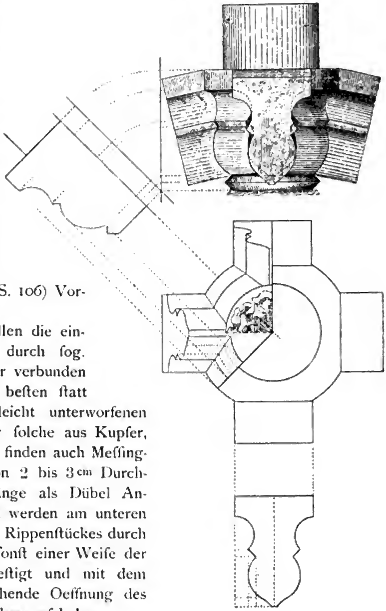
Ebenfo werden die Schlufsfteine der im Scheitel des Gewölbes zufammentretenden Rippen als felbftändige Werkftücke in mannigfachfter, oft äufserft reicher, felbft phantaftifcher Art als befondere volle oder durchbrochene Werkftücke gearbeitet. In Fig. 291 ift ein einfacher Schlufsftein mit cylindrifchem Kern und befonders angearbeiteten Rippenanfätzen dargeftellt. Der Durchmeffer des cylindrifchen Kernes ift ftets fo grofs zu nehmen, dafs ein häfsliches Ineinanderfchneiden der Begrenzungslinien oder der Seitenflächen der Rippen vermieden wird. Häufig werden, wie Fig. 292 angiebt, auch die Rippenprofile an den Seitenflächen des cylindrifchen Kernes mit angearbeitet. Anordnung, Form und Ausfchmückung der Schlufsfteine find der gröfsten Freiheit unterzogen worden. Gleiche Mafsnahmen können bei den gemeinfchaftlichen Zwifchenftücken fich kreuzender Rippen der Stern- und Netzgewölbe getroffen werden. Die Bauwerke der Gotik bieten hierfür eine ganz erhebliche Anzahl von Beifpielen.

Fig. 291.



Für das Verfetzen der Werkftücke der Rippen ift das Einlegen dünner Blei-

Fig. 292.



platten bei den Fugenflächen sehr zweckmäfsig. Dabei treten die Ränder der Bleiplatten überall um 1 cm ringsum von den Kanten der zusammentretenden Lagerflächen der Rippenstücke zurück. Hierdurch entsteht eine ringsum laufende, 1 cm tiefe, offene Fuge, die das durch Kantenpressungen sonst leicht erfolgende Absplittern von Kantenteilen möglichst verhindert. Beim Versetzen der Rippenstücke in Mörtel findet das in Art. 51 (S. 106) Vorgetragene Berücksichtigung.

Sollen in besonderen Fällen die einzelnen Stücke einer Rippe durch sog. Dübel oder Dollen miteinander verbunden werden, so benutzt man am besten statt der eisernen, dem Rosten leicht unterworfenen Dübel oder Stifte, weit besser solche aus Kupfer, Bronze oder Messing; zuweilen finden auch Messingröhren oder Kupferröhren von 2 bis 3 cm Durchmesser und 10 bis 12 cm Länge als Dübel Anwendung. Die einzelnen Dübel werden am unteren Lagerflächenteile eines oberen Rippenstückes durch Einbleien, Eingipsen oder in sonst einer Weise der Hälfte der Länge nach befestigt und mit dem freien Teile in eine entsprechende Oeffnung des darunter liegenden Rippenstückes geschoben.

Bei Werksteinrippen wird meistens der Schlufsstein zuerst versetzt und genau gerichtet. Durch genaues Vorreifsen der Mittellinie der Grundrifsbreite der Rippe auf ihrem Lehrbogen wird beim Versetzen der einzelnen Rippenstücke vom Anfänger aus die in sorgsamster Weise zu wahrende Richtung der Rippenbogen angegeben.

Das Einwölben der Kappen zwischen dem fertigen Rippengebilde ist in gleichmäfsigem Fortschritte von allen Anfängen der einzelnen Kappengebiete aus vorzunehmen. Zeigt sich bei diesem Einwölben, wie zuweilen der Fall ist, ein leichtes Heben der Rippen nach dem Schlufssteine zu, so mufs für eine entsprechende, später wieder zu beseitigende Belastung des Schlufssteines durch aufgelegte Backsteine rechtzeitig gesorgt werden. Werden die Rippen aus Backsteinen oder besonderen Formsteinen ausgeführt, so können dieselben entweder wie die Werksteinrippen als selbständige Bogen behandelt oder auch gleichzeitig mit der Wölbung der Kappen hergerichtet werden.

Sollen besondere, aus Quadern oder Backstein herzustellende Schildbogen angeordnet werden, welche demnächst zur Hälfte vor der Fläche der Schildmauer

liegen ſollen, ſo ſind in dieſer Mauer ſchon während ihrer Ausführung die zur Aufnahme der rückliegenden Hälfte dieſer Schildbogen erforderlichen Nuten oder Falze zu bilden. Solche Falze ſind auch für die Anſatzflächen der an die Schildmauern tretenden buſigen Kappen zu ſchaffen. Nach Schluſs der Gewölbe findet ein Uebergieſsen mit dünnflüſſigem Kalk- oder Zementmörtel zur Erzielung eines vollſtändigen Schluſſes der hier und dort mit Lücken behafteten Fugen des Wölbmauerwerkes ſtatt. Etwa anzubringende Ausmauerungen der Gewölbzwickel oder Uebermauerungen der Rippen, Pfeiler u. ſ. f. ſind in regelrechtem Verbande herzuſtellen. Ueber die Zeit der Ausführung, über die Maſsnahmen der Trockenhaltung, ſowie über die Ausrüſtung der gotiſchen Kreuzgewölbe ſind alle in Kap. 11, unter c bei der Beſprechung der Ausführung der Tonnengewölbe angegebenen Geſichtspunkte wiederum zu beachten.

---

17. Kapitel.

Fächer- oder Trichtergewölbe.

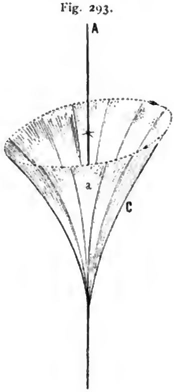
a) Geſtaltung der Fächergewölbe.

Das Fächergewölbe, auch Trichter-, Palmen- oder Strahlengewölbe genannt, 224. Form.
beſitzt als Laibungsfläche eine Umdrehungsfläche. Dieſelbe wird durch Drehung einer geſetzmäſsig gebildeten ebenen Kurve um eine in ihrer Ebene angenommene, feſte, lotrechte Achſe erzeugt, welcher ſie in jeder neuen Stellung ihre konvexe Seite zukehrt. Hierdurch entſteht eine kegel-, bezw. trichterartige Gewölbform.

Die allgemeine Grundgeſtaltung der Laibungsflächen *a* dieſer Gewölbe iſt in Fig. 293 mit der erzeugenden Kurve *C* und der feſten lotrechten Achſe *A* gekennzeichnet.

Als Erzeugende wird ein Kreisbogen, bezw. ein Viertelkreis, eine elliptiſche Linie, bezw. eine Viertelellipſe, ein Korbbogen u. ſ. w. gewählt. Meiſtens wird die erzeugende Kurve ſo geſtellt, daſs in ihrem Fuſspunkte die Führung einer lotrecht gerichteten Tangente möglich wird. An den ſpätgotiſchen Bauwerken Englands tritt bei den Fächer- oder Trichtergewölben vorzugsweiſe eine gedrückte, ziemlich flache, in der Erſtreckung am Scheitel mäſsig gekrümmte Bogenlinie, welche der Hälfte eines ſog. Tudorbogens angehört, als Erzeugende auf.

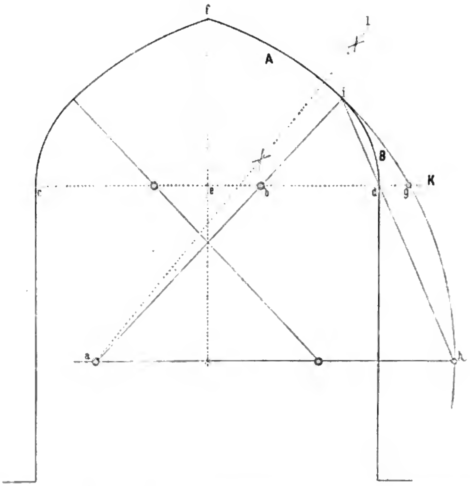
Fig. 293.



Der Tudorbogen iſt im allgemeinen ein Knickbogen; Fig. 294 zeigt hierfür eine Konſtruktion. Sind die Spannweite *cd* und die Pfeilhöhe *ef* vorgeſchrieben, ſo kann das Zeichnen des Bogens in folgender Weiſe vorgenommen werden.

Auf der Verbindungsgeraden *K* der Kämpferpunkte *c*, *d* wähle man auſserhalb der Spannweite *cd* den Punkt *g* beliebig, jedoch, falls eine längere flache Bogenlinie *A* nach dem Scheitel zu vorherrſchen ſoll, in einem nicht zu groſsen Abſtande *dg* vom Kämpferpunkte *d*. Durch dieſen Punkt *g* und den Scheitelpunkt *f* lege man einen Kreisbogen, deſſen Mittelpunkt *a* auf der in bekannter Weiſe zu beſtimmenden Geraden *l* ſo gewählt wird, daſs die Bogenlinie *fg* die gewünſchte mäſsig

Fig. 294.



gekrümmte Form *A* erhält. Der fonft beliebig anzunehmende Punkt *a* liegt zweckmäfsig auf der Linie *l* innerhalb des Gebietes der Spannweite *cd*.

Ergänzt man den Kreisbogen *fg* zu einem Viertelkreife *fh*, zieht man den Strahl *hd* bis zum Schnitte *i* mit dem Bogen *fg*, und führt man zuletzt den Strahl *ia*; fo wird der Schnitt *b* diefes Strahles mit der Geraden *cd* der Mittelpunkt des Anfatzbogens *B* des halben Tudorbogens *dif*. Die beiden Kreisbogen *A* und *B* befitzen in *i* eine gemeinfchaftliche Tangente.

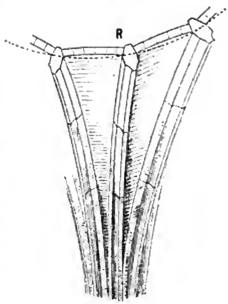
Der vollftändige Tudorbogen ift alfo im befonderen ein gedrückter, aus 4 Mittelpunkten befchriebener Spitzbogen.

225. Rippenfyftem.

Setzt man an die Stelle der erzeugenden Bogenlinie wirkliche Rippenkörper *R* (Fig. 295), fo laffen fich diefe in ihrer Gefamtheit auf die erwähnte Umdrehungsfläche zurückführen.

Nimmt man den in der Kämpferebene der Rippen gelegenen Fufspunkt der lotrechten Umdrehungsachfe als gemeinfchaftlichen Ausgangspunkt ihrer Grundrifslinien (Achfenlinien) an, giebt man den Grundrifswinkeln der ftrahlenförmig nebeneinander liegenden Rippenzüge möglichft diefelbe Gröfse, fo entfteht das geordnete Rippenfyftem des eigentlichen Fächer-, Strahlen- oder Palmengewölbes.

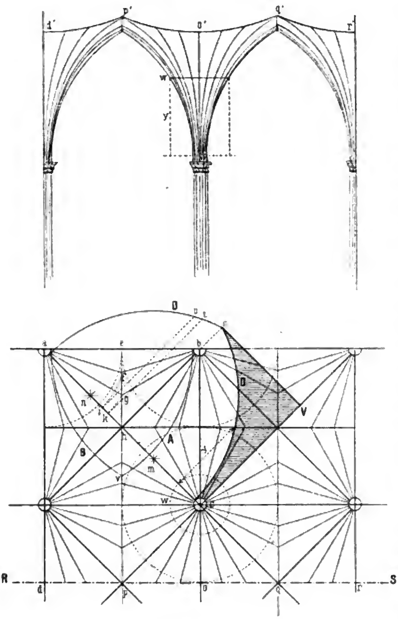
Fig. 295.



Zwiſchen den Rippen liegen die verhältnismäſsig gering geſpannten, ohne Schwierigkeit einzuwölbenden oder ſonſt in einfacher Weiſe zu ſchlieſsenden Gewölbfelder (Gewölbkappen), Gewölbfache oder die ſog. Fächer. Die gemeinſchaftliche Stütze des derart angeordneten Rippen- und Kappenkörpers tritt als Pfeiler oder als Säule auf. Die lotrechte Achſe dieſer Stütze iſt die Verlängerung der Umdrehungsachſe des zugehörigen Gewölbſtückes.

Je gröſser die Zahl der von einer Stutze ausgehenden Rippen iſt, je mehr ſich dieſelben wie Palmzweige ſchlank und nach oben gerichtet fächerförmig ausbreiten, um ſo ſchöner und ausdrucksvoller erſcheinen dieſe Deckenbildungen.

Fig. 296.



Iſt ein Raum von ausgedehnter Grundfläche mit Fächergewölben zu überdecken, ſo iſt durch Pfeiler- oder Säulenſtellungen das Zerlegen dieſer Grundfläche in Abteilungen vorzunehmen. Die Grundriſsflächen der Abteilungen ſind möglichſt von gleicher Gröſse als Quadrate oder als Rechtecke aneinander zu reihen. Die lotrechten Achſen der Wand- und Zwiſchenpfeiler, bezw. Säulen beſtimmen dann ſofort auch die Stellung der Achſen für die Umdrehungsflächen des Gewölbſyſtems, das nunmehr eine Gruppe gleichmaſsig geſtalteter Fächergewölbe umfaſst.

Hiernach iſt in Fig. 296 im Grundriſs und im Schnitt nach *RS* die Geſtaltung einer Anlage von Fächergewölben über Abteilungen mit quadratiſcher Grundfläche vorgenommen. Die verlängerte lotrechte Achſe der Säule *c* giebt die in den Grundriſs niedergelegte Umdrehungsachſe *V*. Aſs erzeugende Kurve der Umdrehungsfläche des Rippenſyſtems iſt der um *n* beſchriebene Schenkel *D* eines in der diagonalen Richtung *a c* ſtehenden Spitzbogens frei gewählt. 226. Quadratiſche Grundform.

Eine in beliebiger Hohe *y* durch die Erzeugende *D* geführte wagrechte Ebene ſchneidet die entſtanden gedachte Umdrehungsfläche nach einem Kreiſe *w*. Dieſer iſt als Teilkreis für die Grundriſſe der Achſenlinien der von *c* ſtrahlenförmig ausgehenden Gewölbrippen benutzt. In der Zeichnung ſind die

Grundrifswinkel der Rippenlinien nach gleicher Gröfse feftgefetzt. Verfährt man in Rückficht auf das Feftlegen der Rippenftrahlen in übereinftimmender Weife bei allen Achfen der Wand- oder Freiftützen, welche als Eckbildungen der einzelnen Abteilungen des gefamten Deckenkörpers zu gelten haben, fo ergiebt fich, wie ohne weiteres aus der Zeichnung zu entnehmen ift, der Grundrifs für fämtliche Rippenlinien, welche, für eine Abteilung an fich betrachtet, fternartig zufammentreten. Dabei treffen fich die Rippenlinien *a e* und *b e* im Punkte *e* an der Stirnfeite *a b* der Abteilung *h*. Der Stirnbogen diefer Abteilung ift der Spitzbogen *A B* mit dem Scheitelpunkte *v*. Seine Schenkel *A*, bezw. *B* find mit dem unveränderlichen Halbmeffer *n s* des erzeugenden Kreisbogens *D* zu befchreiben. Die Schnitt-, bezw. Vereinigungspunkte *e, f, g, h* u. f. f. der einzelnen, entfprechend gelegten Rippenlinien liegen vermöge der unveränderlichen Form der Erzeugenden *D* in verfchiedenen Höhen über der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes. Sie beftimmen aber die Scheitellinien der Gewölbe für die einzelnen Abteilungen. Die Höhen *i u* für den Punkt *f*, *k t* für den Punkt *g* u. f. f. find unter Benutzung der Erzeugenden *D* nach der in der Zeichnung enthaltenen Anleitung leicht zu finden.

Führt man in der Richtung zufammengehöriger Scheitellinien, z. B. *d r*, eine lotrechte Ebene *R S*, fo werden die Umdrehungsflächen der betroffenen Gewölbteile nach einer wellenförmigen Linie $d' p' o' q' r'$ gefchnitten, welche die wirkliche Form der Scheitellinie ergiebt.

Sollten aus befonderen Gründen die wellenförmigen Scheitellinien ganz vermieden, vielmehr durch gerade Linien, welche unmittelbar von d' nach p' und von o' nach p' u. f. f. auffteigen, oder felbft durch wagrechte Linien erfetzt werden, fo mufs für die Rippen, wie *b e*, *b f*, *b g* u. f. f., eine Umänderung der urfprünglichen Erzeugenden *D*, welche alsdann nur für die Rippen wie *c h*, *a h* u. f. f. beftehen bleibt, eintreten. Man verwendet alsdann für die Rippengruppe *b e*, *b f*, *b g* u. f. f. den in Art. 169 (S. 278) befprochenen Korbbogen, deffen unteres Stück über dem Gewölbkörper aber in möglichft grofser Länge mit dem Halbmeffer der gegebenen Erzeugenden *D* befchrieben wird. In der englifchen Gotik ift bei Fächergewölben diefe Anordnung häufig gebraucht.

227. Rechteckige Grundform.

Werden die Grundriffe der Abteilungen einer gröfseren Anlage von Fächergewölben als Rechtecke angeordnet, fo ift es nicht nötig, die Grundrifsgeftaltung der Rippenftrahlen und die weitere Durchbildung des Wölbfyftems im allgemeinen in einer von der quadratifchen Grundrifsform abweichenden Weife vorzunehmen.

Will man hinfichtlich der Strahlenlage der Rippen eine Aenderung eintreten laffen, fo kann, wie in Fig. 297 für die Hälfte einer rechteckigen Abteilung eines Fächergewölbes angegeben ift, diefe Strahlenlage durch die geeignete Teilung der wagrechten Projektionen *f l*, *m l* der Scheitellinien des Gewölbes beftimmt werden.

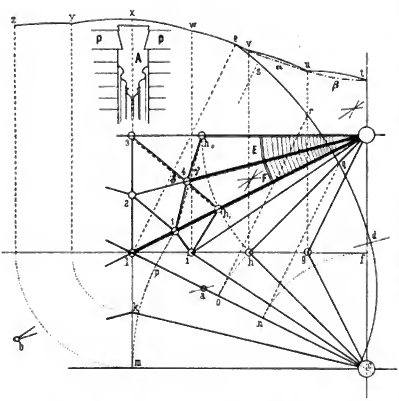
Hier ift die Scheitellinie *f l* in 4, *m l* in 2 gleiche Teile zerlegt. Die z. B. vom Fufspunkte *c* der Umdrehungsachfe nach jenen Teilpunkten gezogenen Geraden *c g*, *c h*, *c i*, *c k* ergeben in Gemeinfchaft mit der Diagonalenftrecke *c l* das Grundrifsgebilde der Rippen. Die Grundrifswinkel an der Stütze *c* find ungleich grofs.

Als Erzeugende der Rippen ift ein Knickbogen (Tudorbogen) *c d e* gewählt, deffen unteres Stück bis *d* um *a* mit dem Halbmeffer *a d*, deffen oberes, weit längeres Stück *d e* um *b* mit dem Halbmeffer *b d* befchrieben wurde. Diefer Bogen ift die lotrechte Projektion der Rippenlinie *c l*. Die Form aller übrigen Rippenbogen ift hiervon unmittelbar abhängig gemacht. So entfpricht der Rippenbogen über *c h* dem Knickbogen bis zum Punkte *r*. Denn dreht man *c h* um *c* nach *c o*, fo giebt der Schnitt *r* des in *o* auf *c l* errichteten Lotes *o r* die Begrenzung des für die Rippe *c l* erforderlichen Teiles von dem zu Grunde gelegten erzeugenden Knickbogen an. In demfelben Sinne hat man zu verfahren, um z. B. in *c d s* den halben Stirnbogen über *c m* oder in *c d q* den halben Stirnbogen über *c f*, wie aus der Zeichnung zu entnehmen ift, zu erhalten.

Die nach der Linie *f l* lotrecht geftellte Ebene fchneidet die Gewölbfläche nach der wellenförmigen Scheitellinie *t x*. Zur Beftimmung derfelben ift z. B. $f t = n q$, $l x = l e$, $h v = o r$ u. f. f. aufzutragen.

Hierbei ergeben fich, je nach der Form des erzeugenden Knickbogens, zuweilen auch nach unten

Fig. 297.



gebogene Stücke β, bezw. α. Diefe find alsdann durch gerade anfteigende Linien $t\,u$, $u\,v$ oder durch mäfsig nach oben gebogene Kreislinien zu erfetzen.

Die Scheitellinie der Ebene $l\,m$ wird als Wellenlinie $z\,y$, $y\,x$ mittels des erzeugenden Knickbogens, wie bei der Scheitellinie über $f\,l$ gezeigt ift, ermittelt.

Sollen in der Nähe des Scheitels in das ftrahlenförmige Rippenfyftem noch Zwifchenrippen $i\,h'$, $i\,1$, $1\,2$ u. f. f. eingefügt werden, fo geht man zweckmäfsig mit diefem Einfügen von einem Punkte h' des längften Rippenftrahles aus.

In der Zeichnung ift zunächft h,l im Punkte 1 halbiert. Die Gerade $i\,1$ ift die Grundrifsprojektion einer Zwifchenrippe. Ebenfo wird in der Geraden $1\,2$ die Grundrifslinie einer neuen Zwifchenrippe erhalten.

Bewegt man den Punkt h, nach $h_{,,}$, fo ergiebt fich in $h_{,,}$ die wagrechte Projektion eines Rippenpunktes, welcher genau fo hoch, und zwar um $o\,r$, über der Kämpferebene des Gewölbes liegt, als die den Projektionen h und h, zugehörigen Rippenpunkte.

Verbindet man 1 mit $h_{,,}$ und h, mit 3 durch gerade, hier punktiert gezeichnete Linien, fo fchneiden diefelben den Rippenftrahl 2, welcher die Gewölbflächen E und F trennt, in den Punkten γ, bezw. δ, alfo im allgemeinen nicht in einem gemeinfchaftlichen Punkte. Um die hier einzufchaltenden Zwifchenrippen mit einem gemeinfchaftlichen Anfchlufspunkte auf der Rippe 2 zu erhalten, wird die Strecke $\gamma\,\delta$ im Punkte 4 halbiert und nunmehr 4 als gemeinfamer Punkt für die nach $4\,h$,, $4\,1$, $4\,h_{,,}$ und $4\,3$ gerichteten Zwifchenrippen zu Grunde gelegt.

Das Austragen der wirklichen Geftalt der Bogenlinien der verfchiedenen Zwifchenrippen ift unter fteter Benutzung des erzeugenden Knickbogens auf bekanntem Wege vorzunehmen.

Die Ermittelung der Normalfchnitte und der zugehörigen Kappenfalze p, welche der gewählten Art der Einwölbung zu entfprechen haben, kann für irgend einen Rippenkörper A nach dem in Art. 182 bis 189 (S. 295 bis 309) Gefagten leicht bewirkt werden.

Eine Umformung, aber gleichzeitig auch eine etwas gekünftelte Geftaltung des Fächergewölbes ergiebt fich, fobald die nach einer gegebenen, unveränderlichen Erzeugenden gleichförmig gebildeten, ftrahlenförmig fich erhebenden Rippen mit ihrem oberen Ende gegen wagrecht liegende, nach Viertelkreifen gekrümmte Abfchlufsrippen gefetzt werden. 228. Umformung des Fächergewölbes.

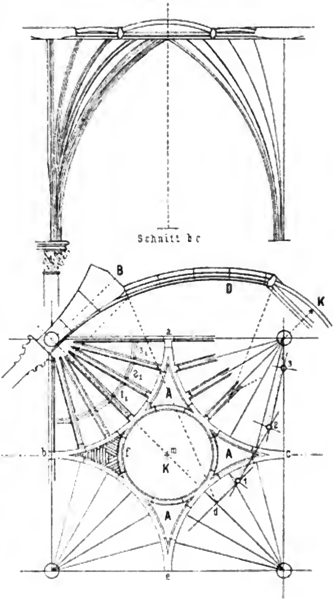
Diefe Gewölbbildung, welche in der fpäteften Zeit der Gotik entftand und ab und an noch Verwendung findet, ift in Fig. 298 dargeftellt.

Die Erzeugende D gilt für alle Rippen des Fächergewölbes. Die nach Viertelkreifen geformten, wagrechten Abfchlufsrippen $a\,b$, $a\,c$, $e\,b$, $e\,c$ umfchliefsen ein gröfseres Zwickelfeld $a\,b\,c\,e$, das durch eine die Abfchlufsrippen mit verfpannende

Kranzrippe *f* in kleinere dreieckförmige Nebenzwickel *A* und eine Kreisfläche *K* zerlegt wird. Das Einwölben der Gewölbfache 1_1, 2_1 u. f. f. kann nach Kugelflächen ftattfinden, deren Mittelpunkte *1*, *2* u. f. f. nach den in Art. 166 (S. 273) gemachten Angaben zu beftimmen find. Die Gewölbzwickel *A* können durch Steinplatten oder durch ganz flache Kappengewölbe oder Klostergewölbe gefchloffen werden, während die Kreisfläche *m*, der fog. Spiegel, meiftens mit einem flachen, tellerförmigen Kugelgewölbe überdeckt wird.

Das eigentliche Fächergewölbe und das umgeformte Fächergewölbe geftatten eine äufserft reiche, felbft üppige Durchbildung, welche fogar an das Phantaftifche herantreten kann. In keinem Falle darf aber die Fülle der Formen die grundlegenden, dem Gewölbbau ftreng entfprechenden Konftruktionsregeln in den Hintergrund drängen, damit Geftaltung und Ausführung der Fächergewölbe nicht in eine Spielerei ausarten. Durch geeigneten Farbenfchmuck kann den Fächergewölben ein erhöhter Reiz verliehen werden.

Fig. 298.



b) Stärke der Fächergewölbe und ihrer Widerlager.

229. Gewölbftärke. Das Rippenfyftem der Fächergewölbe entfpricht im wefentlichen demjenigen des Sterngewölbes und damit auch demjenigen des gotifchen Kreuzgewölbes. Ebenfo find die Einwölbungen der Gewölbfache bei den Fächergewölben in der Form im allgemeinen als bufige Kappen, wie bei den genannten Kreuzgewölben, zu behandeln.

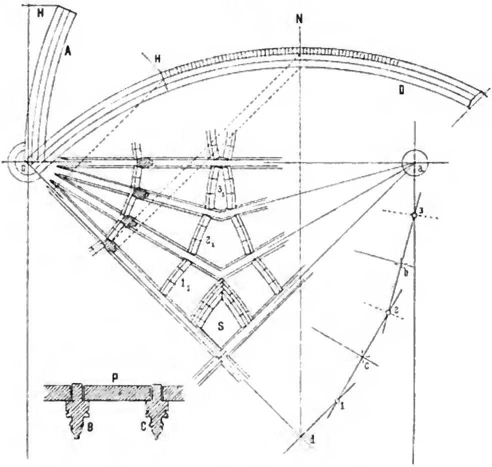
Aus diefem Grunde gelten alle diejenigen Unterfuchungen, welche zur Prüfung der Stabilität und zur Beftimmung der Stärke der Rippen und Kappen für die bezeichneten Kreuzgewölbe in Art. 195 bis 211 (S. 320 bis 341) näher befprochen find, auch für die Fächergewölbe.

230. Widerlagsftärke. Auch für die Ermittelung der Stärke der Widerlager der Fächergewölbe kommen wiederum alle in diefer Beziehung bei den gotifchen Kreuzgewölben in Art. 213 bis 219 (S. 341 bis 348) behandelten Punkte ohne weiteres zur Geltung.

c) Ausführung der Fächergewölbe.

Die fämtlichen Vorfchriften und Mafsnahmen, welche in Art. 220 bis 223 (S. 349 bis 355) für die Ausführung der gotifchen Kreuzgewölbe hinfichtlich der Herftellung der Kappen und der Anfertigung, bezw. Aufftellung der Rippen mitgeteilt find, werden auch bei der Ausführung der eigentlichen Fächergewölbe innegehalten. Die Rippen werden durch Lehrbogen unterftützt. Die Kappen, welche bei den einer fremden Belaftung meiftens nicht ausgefetzten Fächergewölben gewöhnlich nur ½ Backftein ftark ausgeführt werden, find freihändig mit Bufung unter Verwendung gut bindenden Mörtels zu mauern. 231. Gewölbkappen.

Fig. 299.



In Fig. 299 find die Grundrifsprojektionen einiger Wölbfchichten der Kappen, welche hier eine Bufung nach reinen Kugelflächen mit den Mittelpunkten *1*, *2*, *3* und dem Kugelhalbmeffer *do* der Erzeugenden *D* der Rippenkörper erhalten haben, gegeben. Hiernach ift $od = oc = ob$. Die in *d* auf *od* und in *c* auf *oc* u. f. f. errichteten Lote liefern in ihren Schnitten *1*, *2* u. f. f. jene Kugelmittelpunkte der einzelnen Gewölbfache 1_1, 2_1, 3_1. Nach der an der Rippe *D* vorgenommenen Teilung der Wölbfchichten und Anordnung der Lagerflächen in der radialen Richtung *dN* ergeben fich fofort die nötigen Anhaltspunkte für die Darftellung der Wölbfchichten im Grundrifs. In den Scheitellinien der einzelnen Gewölbfache treten die Wölbfchichten auf Schwalbenfchwanzverband, wie bei *S* fich zeigt, zufammen.

Sollen die Gewölbfache unverputzt bleiben oder gar in verfchieden gefärbten Backfteinen als Schmuck befondere Mufter erhalten, fo ift ftets eine forgfältig angefertigte Zeichnung diefer Wölbfchichten der Ausführung zu Grunde zu legen.

Tritt bei kleinen Gewölbfachen ftatt der Wölbung eine Plattendeckung *p* ein, fo erhalten die tragenden Rippenkörper *A*, *C* bei einer hinlänglichen Stärke entfprechend tiefe, 5 bis 8 cm breite Falze. Die meiftens nur fchmalen Platten find forgfam in Mörtel zu verfetzen.

232. Rippen.

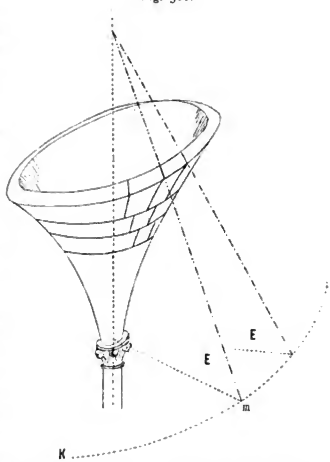
Die Rippen der Fächergewölbe können aus Backftein oder Hauftein hergeftellt werden. Zweckmäfsig werden die Kämpferftücke *A* (Fig. 299) der über den Wand- oder Zwifchenftützen zufammentretenden, fich vielfach hier abzweigenden Rippen bis zu einer Höhe *H*, in welcher eine regelrechte Kappenwölbung beginnen kann, felbft für Backfteinrippen aus Quadern in einem Stücke oder aus mehreren, durch wagrechte Lagerfugen getrennten Schichten angefertigt.

Bei den Abfchlufs- und den Kranzrippen der Spiegel des in Art. 228 (S. 359) befchriebenen umgeformten Fächergewölbes mufs, wie in Fig. 298 bereits mit angegeben ift, auf einen Fugenfchnitt diefer Rippen Bedacht genommen werden, welcher, bei Vermeidung zu grofser Einzelftücke, ihre möglichft gute Verfpannung unter fich und mit den Endftücken der Fächerrippen zu bewirken vermag.

233. Gewölbe ohne Rippen.

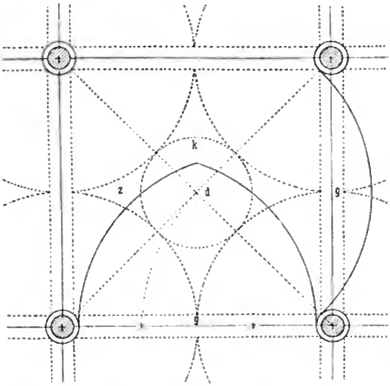
Führt man für den Gewölbkörper ein felbftändiges Rippenwerk nicht aus, läfst man vielmehr die Laibungsfläche des Gewölbes ausfchliefslich als Umdrehungsfläche beftehen und wird hiernach das Gewölbe gleichfam als eine maffive, trichterförmig nach oben fich ausbreitende Schale gemauert, fo entfteht das eigentliche Trichtergewölbe. Im Ziegelrohbau laffen fich folche Gewölbe ziemlich leicht herftellen. Die wirkliche, auf ftrengen Regeln des Gewölbbaues beruhende Bildung und Ausführung der an und für fich beachtenswerten Fächergewölbe, bei welchen das fchön und fachgemäfs geordnete Rippenfyftem die Hauptrolle übernimmt, um als Gruppe von Tragkörpern für die mit Bufung ausgeführten Kappenwölbungen dienen zu können, wird bei den Trichtergewölben jedoch zu fehr in den Hintergrund gedrängt. Gehören auch die Lagerflächen des Gewölbkörpers in Rückficht auf die jedesmalige Umdrehungsachfe geraden Kegelflächen an, deren gemeinfchaftliche Bafis in der wagrechten Kämpferebene als der Kreis *K* (Fig. 300) auftritt, welchen der Mittelpunkt *m* bei der Drehung der Erzeugenden der Trichterfläche befchreibt, fo liegen andererfeits die Stofsflächen der Wölbfchichten in lotrechten Ebenen *E*, welche fich fämtlich in

Fig. 300.



der Umdrehungsachfe fchneiden. Die Lagerkanten zwifchen den Stofsflächen find demnach an der Seite des Steines, welche der Umdrehungsachfe zugekehrt ift, kürzer als an der vorn in der Laibungsfläche des Trichterkörpers liegenden Seite, fo dafs ein Abrutfchen der Steine der einzelnen Wölbfchichten auf den nach innen geneigten Lagerflächen leicht eintreten kann. Die durch die Geftaltung des Wölbkörpers geforderte Anordnung der Stofsfugenflächen entfpricht aber nicht dem wahren Gefüge und dem inneren Wefen des Gewölbbaues. Um das Abrutfchen der Wölbfteine zu verhindern, ift die Anwendung eines ftark bindenden Mörtels, nicht allein für die Vermauerung der Steine der Trichterftücke, fondern auch für den Wölbkörper der zwifchen den Trichtern liegenden Spiegel, geboten, fo dafs im allgemeinen das forgfam herbeigeführte Feftkleben der Steine durch Mörtel vorherrfchend ift. Aus diefem Grunde nähern fich derart ausgeführte Trichtergewölbe den fog. Gufsgewölben. Der Fufs der einzelnen Trichterftücke wird in wagrechten, nach und nach vorgekragten Schichten, zweckmäfsig in fog. Rollfchichten, in folcher Höhe ausgeführt, bis eine ausreichende Lagerfläche für die ringförmigen oberen Wölbfchichten entftanden ift. Statt diefes aus Backftein gemauerten Anfängers ift beffer ein Anfänger aus Quadern zu verwenden.

Fig. 301.



Bei der Mauerung der Gewölbe, welche in den einzelnen Abteilungen felten eine Spannweite über 4 m erhalten und meiftens nur als Ziergewölbe ohne weitere fremde Belaftung gelten, werden nur leichte, einfache Lehrbogen an den Seiten und in der Richtung der Diagonalen der zugehörigen Abteilungen aufgeftellt. Diefe Hilfsbogen und eine nach der Erzeugenden der Umdrehungsfläche begrenzte, drehbare Brettfchablone ermöglichen das Innehalten der Gewölbform. Die Stärke diefer Gewölbe ift meiftens gleich ½ Backftein.

Die eben befprochene Herftellung der Trichtergewölbe wird hinfichtlich ihrer Standfähigkeit einigermafsen durch Gurtbogen *g* (Fig. 301), welche die Abteilungen der Gewölbe an den Seiten begrenzen, verbeffert. Aufserdem ift die Einwölbung des Kranzes *k* im Spiegel und die Ausführung der Zwickelgewölbe *z* mit kleinen, bufigen Kappen, fowie der Schlufs innerhalb des Kranzes mit einem ganz flachen Kugelgewölbe ratfam. Eine weitere Verbefferung kann, namentlich bei Gewölben über 4 m Spannweite, noch durch Hinzufügen von Gurtbogen in der Richtung der Diagonalen *d* der Abteilungen herbeigeführt werden. Die einzelnen Gurtbogen

erhalten zur Aufnahme der Wölbfchichten die in Fig. 205, II (S. 247) bereits angegebene Verzahnung.

Die Laibungsflächen diefer Gewölbe werden geputzt, häufig kanneliert, auch entfprechend mit Stuck oder Malerei gefchmückt. Die infolge der Richtung der Stofsfugen beftehenden Mängel ihrer Konftruktion werden hierdurch wohl verfchleiert, aber nicht befeitigt.

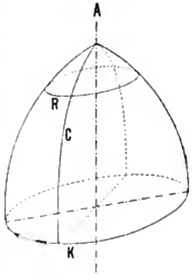
18. Kapitel.

Kuppelgewölbe.

a) Geftaltung der Kuppelgewölbe.

234 Form. Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ift eine Umdrehungsfläche. Diefelbe kann in ihrer einfachften Form durch Drehung einer gefetzmäfsig gebildeten ebenen Kurve um eine ihrer Ebene angehörende, fefte, lotrecht ftehende Achfe erzeugt werden, welcher fie bei der Drehung ftets ihre konkave Seite zuwendet. Jeder Punkt der erzeugenden Kurve befchreibt nach vollendeter Drehung einen in wagrechter Ebene liegenden Kreis. Der Grundrifs der hiernach geftalteten Laibungsfläche des Kuppelgewölbes ift alfo gleichfalls ein Kreis.

Fig. 302.

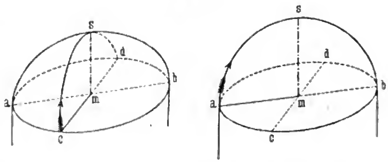


Diefe einfachfte Entwickelung der Form einer Kuppelgewölbfläche ift in Fig. 302 mit der erzeugenden Kurve C, der feften lotrechten Achfe A, dem Grundrifskreife K und einer beliebigen fog. Ringlinie R zur Anfchauung gebracht. In der Regel befitzt die als Erzeugende gewählte Kurve in ihrem Fufspunkte eine lotrechte Tangente.

Ift diefe Kurve ein Viertelkreis, fo entfteht für die Laibung des Kuppelgewölbes eine Halbkugelfläche. Alsdann heifst das Kuppelgewölbe auch Kugelgewölbe.

Die erzeugende Kurve, fchlank oder weniger fchlank auffteigend, kann ein Kreisbogen, eine Viertelellipfe, ein Korbbogen, eine Parabel u. f. f. fein. Je nach der Wahl derartiger Erzeugenden ift die mehr oder weniger zum kräftigen Ausdruck zu bringende Form der Laibungsfläche der Kuppelgewölbe zu geftalten.

Fig. 303.



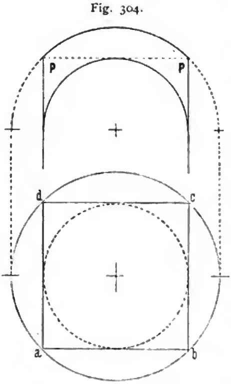
Bedingt die angegebene Weife der Erzeugung der Kuppelgewölbfläche einen Kreis als Grundrifs, fo läfst fich doch felbft bei elliptifchem Grundriffe die Laibung des fog. elliptifchen Kuppelgewölbes nach Fig. 303 durch Drehung der halben Ellipfe abc um die grofse, in wagrechter Ebene liegende

Achſe *ab* oder auch durch Drehung der halben Ellipſe *cda* um die zugehörige kleine Achſe *cd* ebenfalls leicht erzeugen. In erſterem Falle giebt jede rechtwinkelig zu *ab* ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt, während jede lotrechte, parallel zu *ab* ſtehende Ebene die Laibungsfläche nach halben Ellipſen ſchneidet. Entſprechend würden derartige Schnitte von Ebenen bei der zweiten angegebenen Erzeugungsart der Gewölbfläche zu beſtimmen ſein. Hier giebt jede rechtwinkelig zu *cd* ſtehende Ebene einen Halbkreis als Schnitt.

Durch die beſchriebenen Geſtaltungen der Kuppelgewölbflächen iſt jedoch die Ausbildung der Kuppelgewölbe über kreisrunden oder elliptiſchen Grundriſſen allein keineswegs beſchränkt.

Mögen die Kuppelgewölbe in frühеſter Zeit, abgeſehen jedoch von der Ausführung in der Deckenbildung ſelbſt, vorwiegend über Räumen mit reinem Kreisgrundriſſe hergeſtellt ſein, weil dieſe Anordnung naturgemäſs am nächſten lag, ſo zeigt ſich beim Verfolgen des Weges, welchen die Entwickelung des Gewölbbaues eingeſchlagen hat, ſehr bald die Spur, welche darauf hinweiſt, Kuppelgewölbe über zehneckigen, achteckigen, alſo vieleckigen, und weiter über quadratiſchen Grundriſſen in Anwendung zu bringen.

Fig. 304.

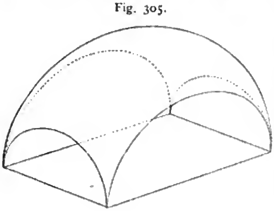


Baugeſchichtliche Anhaltspunkte hierfür ſind in Teil II, Band 2 dieſes »Handbuches« geboten.

Beſondere, nach verſchiedenen Seiten ſich geltend machende Syſteme in der Geſtaltung der Kuppelgewölbe werden im allgemeinen durch die quadratiſche Grundriſsform veranlaſst. 235. Stutz- oder Hängekuppel: Erſtes Syſtem.

Bleibt zuerſt die Umdrehungsfläche als Laibungsfläche des Kuppelgewölbes beſtehen, wie ſolches einem Kreisgrundriſſe angehören würde, ſo geht der Grundkreis dieſer Kuppelfläche (Fig. 304) durch die Ecken *a*, *b*, *c*, *d* des quadratiſchen Grundriſſes. In den Seiten *ab*, *bc* u. ſ. f. aufgeſtellte lotrechte Ebenen ſchneiden von der Gewölbfläche genau beſtimmbare Stücke ab, ſo daſs die Fuſspunkte *a*, *b*, *c*, *d* der Kuppel die Anfänge von Kuppelzwickeln *P*, Pendentifs genannt, ſind, welche ſeitlich durch die Schnittlinien der Ebenen *ab*, *bc* u. ſ. f. begrenzt werden. Dieſe Schnittlinien bilden die Stirnbogen der Kuppelgewölbfläche. Hierdurch entſteht das Syſtem der ſog. einfachen Stutzkuppel oder Hängekuppel. Im beſonderen kann die Geſtaltung derartiger Stutzkuppeln auch über rechteckigen Grundriſſen (Fig. 305) oder über vieleckigen Grundriſſen, deren Ecken dann aber zweckmäſsig, zur Vermeidung ungleicher Höhenlage der Fuſspunkte der Kuppelzwickel, im Grundkreiſe der Kuppelflachen liegen, platzgreiſen.

Fig. 305.



Müſſen die Fuſspunkte der Kuppelzwickel

in befonderen, von der Grundrifs-bildung der zu überdeckenden Räume abhängigen Fällen eine ungleiche Höhenlage erhalten, fo ift die Geftaltung der Kuppelgewölbfläche mit Pendentifs füglich doch bei jedem beliebig begrenzten Grundrifs möglich, wenn nur der in der Ebene der Grundrifsfigur liegende Grundkreis der Kuppelfläche im allgemeinen die Grundrifsfläche des Raumes umzieht.

236. Zweites Syftem.

Geht man wiederum von einem quadratifchen Grundrifs aus, fo erfolgt ein zweites Syftem der Geftaltung der Hängekuppel, fobald über einer Kuppelfläche *P* (Fig. 306), deren Grundkreis *bcd* dem Quadrat umfchrieben ift und welche dabei in ihrer Laibung die Kuppelzwickel *P* allein liefert, noch eine zweite Kuppelfläche *K* gebildet wird, deren Grundkreis den eingefchriebenen Kreis des Quadrats als wagrechte Projektion befitzt.

Fig. 306.

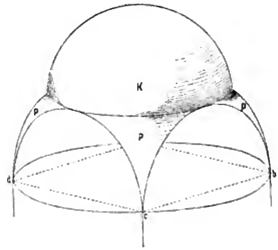
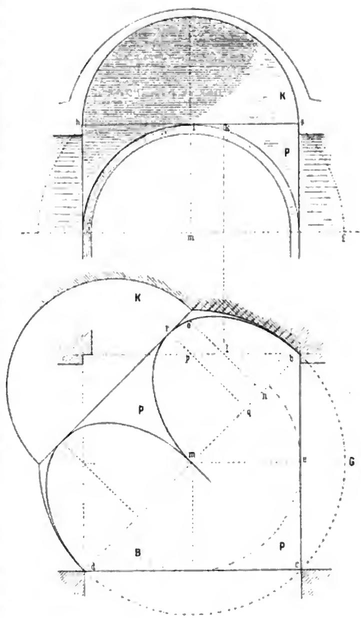


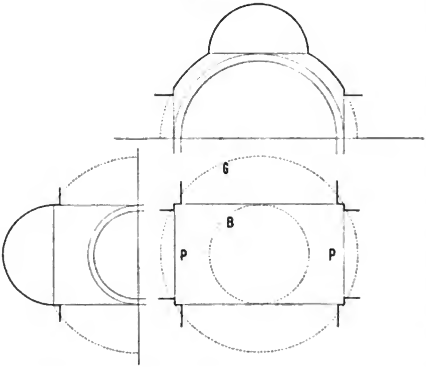
Fig. 307.



Bei der Annahme der Kuppelflächen als Kugelflächen ift in Fig. 307 die zeichnerifche Durchbildung diefes zweiten Syftems der Geftaltung der Hängekuppel über einem quadratifchen Grundriffe näher angegeben. Das Kreisftück *G* kennzeichnet den umfchriebenen, für die Geftaltung der Pendentifs *P* der unteren Kuppelfläche mafsgebenden Grundkreis, während das Kreisftück *B*, dem eingefchriebenen Kreife angehörend, die wagrechte Projektion des Grundkreifes der aufgefetzten Kuppelfläche bedingt.

Will man ftatt der Kugelflächen *P* und *K* andere, gefetzmäfsig geftaltete und in günftiger Form auftretende Umdrehungsflächen als Kuppelgewölbflächen

Fig. 308.



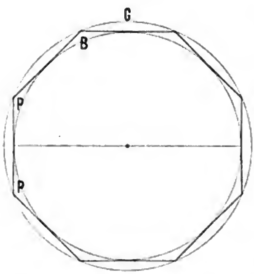
anwenden, so bleiben die Grundkreise *G* und *B* unverändert bestehen.

Dieses zweite System der Gestaltung der Hängekuppel kann unter entsprechender Beachtung und Einfügung der Grundkreise *G* und *B* auch über rechteckigen Grundrissen (Fig. 308) oder mehrseitigen regelmäfsigen Grundrissen (Fig. 309) zur Durchführung gelangen. Zahl und Form der hierbei auftretenden Pendentifs *P* sind sofort zu erkennen. Beim Festlegen des Grundkreises *B* kann auch selbst von seiner Berührung mit den beiden langen Seiten der Grundrifsbegrenzung durch Verkleinerung seines Halbmessers Abstand genommen werden.

237. Drittes System.

Wird zwischen dem unteren, die Pendentifs enthaltenden Teile der Hängekuppel und der oberen aufgesetzten Kuppelfläche noch eine lotrechte cylindrische Gewölbfläche *T*, Trommel oder Tambour genannt (Fig. 310) eingefügt, welcher der Grundkreis *B* als Leitlinie zugewiesen wird, so entsteht das System der sog. Hängekuppel mit Tambour.

Fig. 309.



In der Regel werden in dem Tambour, dessen Höhe, der architektonischen Durchbildung der gesamten Kuppelanlage gemäfs, sehr verschieden ausfallen kann, Lichtöffnungen zur Erhellung der Kuppel durch Tageslicht angebracht.

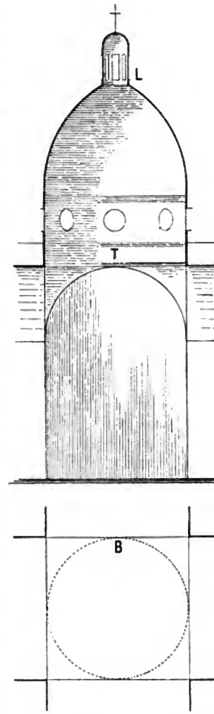
238. Lichtring.

Die bei den Kuppelgewölben ganz besonders beachtenswerte Einwölbungsart nach konzentrischen Ringschichten, worauf bereits in Art. 196 (S. 320) näher hingewiesen ist, gestattet die Schaffung einer freien Oeffnung als Abschlufs des Kuppelgewölbes. Die Ringschicht, welche diese Oeffnung begrenzt, heifst Lichtkranz, Lichtring, auch Schlufsring. Die Oeffnung selbst, in irgend einer Weise als Deckenlicht verwertet, gestattet die Beleuchtung der Kuppel durch Tageslicht in nicht zu unterschätzender Weise.

Benutzt man den Lichtkranz als Träger eines besonderen, in einfacher oder reicher Art ausgeführten, mit Lichtöffnungen versehenen Kuppelaufsatzes *L*, Laterne genannt, so entsteht das Kuppelgewölbe mit Laterne (Fig. 310).

Die Krönungen der Kuppeln, mögen diefelben in der Formgebung der äufseren Umrahmungen der Lichtkränze oder in der Ausbildung des Baukörpers der Laternen ihren Ausklang finden, geben in Verbindung mit einer glücklichen Wahl der eigentlichen Bogenlinie der Kuppelfläche belangreiche Grundlagen für die würdige und hervorragende äufsere Geftaltung bedeutungsvoller Bauwerke.

Fig. 310.



Die Erkenntnis diefer Grundlagen und ganz befonders die Einfachheit der praktifchen Ausführbarkeit der Kuppelgewölbe gaben Veranlaffung, diefe Gewölbe als »Grofskonftruktionen« erften Ranges einzuführen. Durch die bei Kuppelgewölben fich geltend machenden, im allgemeinen günftig zu nennenden ftatifchen Verhältniffe zwifchen Wölb- und Widerlagskörper fand das Beftreben, felbft in kühner Weife Kuppelbauten zu errichten, an und für fich die kräftigfte Unterftützung.

239. Stichkappen.

Sollen im eigentlichen Kuppelgewölbe Lichtöffnungen angebracht werden oder reichen die oberen Abfchlufsbogen von Fenfter- bezw. Thüröffnungen über den Fufs des Kuppelgewölbes hinauf, fo werden für diefe Anlagen wieder die fog. Stichkappen erforderlich. In den meiften Fällen gehören die Laibungen der Stichkappen Kegelflächen an, deren Achfen nach dem Mittelpunkte des Grundkreifes der mit Stichkappen zu verfehenden Kuppelflächen gehen. Hierbei ift jedoch die Wahl einer Cylinder- oder Kugelfläche für die Laibungen der Stichkappen durchaus nicht ausgefchloffen.

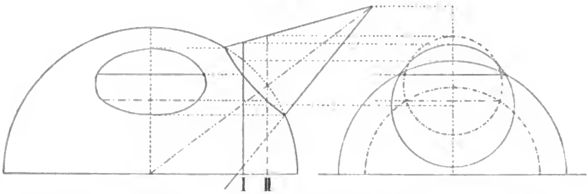
Das über die Ausmittelung der Stichkappen beim Tonnengewölbe in Art. 45 bis 48 (S. 95 bis 103) Gefagte bleibt im wefentlichen auch beim Kuppelgewölbe geltend.

Ebenfo bleiben auch hier die fämtlichen Gefichtspunkte, welche beim Klostergewölbe in Art. 87 (S. 166), bezw. in Art. 88 (S. 168) für die Bildung der Stichkappen oder Lunetten aufgeftellt find, ihrem eigentlichen Inhalte nach beftehen.

Vollftändig ringförmige Stichkappen, fog. Ochfenaugen, entftehen bei der Durchdringung von Kegelflächen, bezw. Cylinderflächen mit der Kuppelgewölbfläche. Meiftens werden Kegelflächen gewählt. Die Leitlinie der Kegelflächen kann ein Kreis oder eine Ellipfe fein. Die Kegelachfen find wiederum zweckmäfsig nach dem Mittelpunkte der zu durchdringenden Kuppelfläche gerichtet. Die Spitzen der Kegelflächen der runden Stichkappen liegen in entfprechender Entfernung oberhalb der Rückenfläche des Kuppelgewölbes.

Die Ausmittelung diefer ringförmigen Stichkappen erfolgt durch die an und für fich einfache Beftimmung der Schnittlinien der Kegelflächen mit der Kuppel-

Fig. 311.



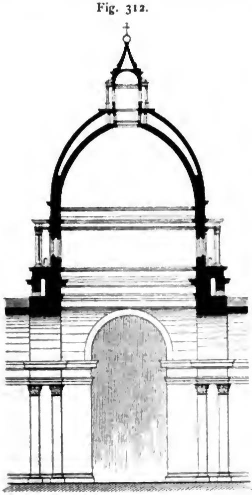
fläche. Die Anleitung zu diefer Beftimmung giebt Fig. 311, wobei für das Hauptgewölbe eine Kugelfläche, für die Laibung der runden Stichkappe eine Kegelfläche, deren Schnitte durch die lotrechten Ebenen *I*, *II* u. f. f. Kreife werden follen, angenommen ift.

Die Ermittelungen der inneren Begrenzungen und die damit in Verbindung ftehenden allgemeinen Geftaltungen des Ochfenauges bieten auch bei anderen Laibungsflächen des Gewölbes und der Stichkappen keine Schwierigkeiten. Die gefchaffene Lichtöffnung wird durch einen im Kuppelgewölbe liegenden Wölbkranz umrahmt.

240. Doppelkuppeln.

Erheben fich über einem gemeinfchaftlichen Grundrifs zwei in geringerer oder gröfserer Entfernung übereinander liegende felbftändige Kuppelgewölbe mit von einander verfchiedenen Umdrehungsflächen, fo entftehen die fog. **Doppelkuppeln**. Ihre Beftandteile find das gemeinfchaftliche Widerlager, die innere Kuppel und die äufsere Kuppel oder die Schutzkuppel. Letztere bildet gleichfam das Dach, um fchädliche Witterungseinflüffe vom inneren Kuppelgewölbe fernzuhalten. In der Regel treten beide Kuppelgewölbe in geringer Höhe über ihrem Widerlager zu einem gemeinfchaftlichen Gewölbftücke zufammen und zweigen fich erft von diefem Fufskörper aus nach oben hin voneinander ab.

Fig. 312.



Ein hervorragendes Bauwerk einer Doppelkuppel mit Pendentifs, Tambour und Laterne ift die bekannte Kuppel der *Peters*-Kirche in Rom (Fig. 312). Die gleichfalls berühmte Doppelkuppel des Domes zu Florenz ift ihrer Geftaltung nach, wie aus dem in Art. 85 (S. 163) Gefagten näher gefolgert werden kann, als eine dem Kloftergewölbe angehörende Haubenkuppel oder Walmkuppel mit Tambour und Laterne anzufehen.

241. Flachkuppel.

Ift die Erzeugende der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes irgend ein Flachbogen *ab* (Fig. 313), fo entfteht die **einfache Flach-**

kuppel, welche fpäter als fog. böhmifches Kappengewölbe noch einer näheren Befprechung zu unterziehen ift.

Der Grundkreis G der Flachkuppel geht bei quadratifcher, rechteckiger oder regelmäfsig-vieleckiger Grundrifsbildung durch die Ecken der Grundrifsfigur. Nach dem Feftftellen der Laibungsfläche der Flachkuppel ift das Austragen ihrer Anfchlufslinien, d. h. der Stirnlinien der Flachkuppel, foweit diefelben für die Seitenebenen des zu überdeckenden Raumes in Betracht kommen, leicht zu bewirken. Setzt man eine Flachkuppel F auf Pendentifs P (Fig. 314), fo tritt in der fog.

Fig. 313.

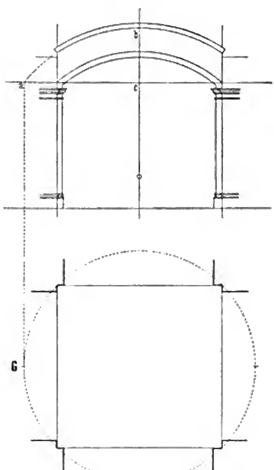
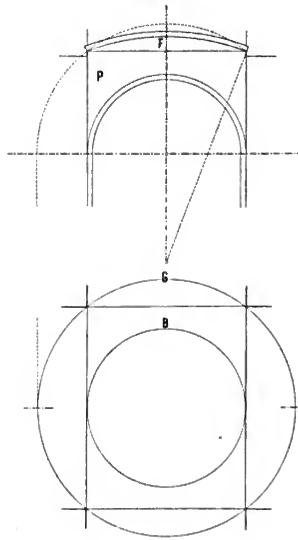


Fig. 314.

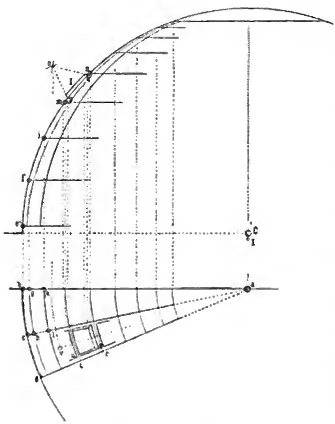


Flachkuppel mit Pendentifs nur eine geringe Umgeftaltung des in Art. 236 (S. 366) bezeichneten Syftems der Hängekuppel ein. Die Kuppelfläche mit den Pendentifs P befitzt neben ihrem befonderen Grundkreife G eine andere Erzeugende als die Flachkuppel mit dem felbftändigen Grundkreife B. Diefer liegt ftets innerhalb der Grundrifsfläche des zu überwölbenden Raumes, berührt dabei ihre Seiten oder erhält einen gröfseren oder geringeren Abftand von denfelben.

Die häufig fehr niedrig gehaltene, tellerförmig geftaltete Flachkuppel (Teller, Nabel, Calotte) wird oft vorteilhaft von den Pendentifs der Unterkuppel durch ein ringförmig geführtes Gefims getrennt.

Die Laibungsfläche des Kuppelgewölbes kann in mannigfaltigster Weise durch Malerei, Stuck, vortretende Rippen u. s. w. verziert werden. Vielfach erfolgen Ausstattung und Gliederung der Laibung der Kuppelgewölbe durch die schon beim Tonnengewölbe in Art. 44 (S. 94) erwähnten Kassetten. Dieselben können mit ihren Stegen die wechselvollsten Formen annehmen, dabei besonders geordnete, nebeneinander liegende oder miteinander verschlungene Felder bilden und in mancherlei Weise mit Gliederungen, Rosetten, Arabesken, figürlichen Darstellungen in einfacher oder reicher Ausstattung versehen werden. In der Nähe des Scheitels des Kuppelgewölbes läßt man zur Vermeidung der hier zu klein erscheinenden Kassetten den sog. Spiegel oder Nabel der Kuppel meistens ohne Kassettenteilung. Je nachdem der Scheitel des Gewölbes mit einem Deckenlicht versehen wird oder seine ursprüngliche Gewölbbildung behält, ist eine entsprechende Ausschmückung des Gewölbspiegels vorzunehmen. 242. Kassettierte Kuppelgewölbe.

Fig. 315.



Für die Anordnung der Kassetten sollen einige Grundlagen mitgeteilt werden, welche im allgemeinen die möglichste Einfachheit bewahren. 243. Kassetten-Anordnung: I. Verfahren.

Das zeichnerische Ausmitteln der Kassetten mit den trennenden Stegen kann nach Fig. 315 auf folgendem, sehr einfachem Wege vorgenommen werden.

Auf dem Grundkreise oder der Kämpferlinie *b d* der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes bestimmt man gleiche Teilweiten *b c*, *c d* u. s. f. und setzt die nach den Teilpunkten *b*, *c*, *d* u. s. f. gezogenen Halbmesser *a b*, *a c*, *a d* u. s. f. als wagrechte Projektionen der Mittellinien der nach dem Scheitel der Kuppel aufsteigenden Stege fest. Soll den Kassetten eine nahezu quadratische Form gegeben werden, so trägt man auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um *C* beschriebener Viertelkreis mit dem Halbmesser *a b* gewählt, zugleich die lotrechte Projektion der Mittellinie des Steges *a b* ist, unter Beachtung einer passenden Entfernung über die Kämpferebene des Gewölbes, z. B. von *e* aus, die Teilweite *b c* des Grundkreises *b d* als *e f* ab. Hierauf ermittelt man die Grundrißprojektion des Punktes *f* auf *a b* in *g* und beschreibt um *a* mit dem Halbmesser *a g* einen Kreis. Derselbe giebt die Grundrißprojektion der Mittellinie des ersten, konzentrisch mit der Kämpferlinie der Kuppel ziehenden Kassettensteges. Seine Schnitte *g*, *h* mit den Steglinien *a b*, *a c* u. s. f. sind die oberen Endpunkte der Teilrisse der ersten Kassettenreihe. Die unteren Endpunkte der Teilrisse dieser Reihe erhält man nach Ermitteln der Grundrißprojektion des Punktes *e* auf *a b*. Die Schnitte des Kreises, welcher durch diese Grundrißprojektion bestimmt und in der Zeichnung punktiert dargestellt ist, mit den Geraden *a b*, *a c* u. s. f. sind die gesuchten Endpunkte.

Liegt bei einer sog. Ueberhöhung der Kuppel die Kämpferebene unter *C*, so erhält die Kassettenanlage infolge der günstigen Annahme des Punktes *e* in zweckmäßiger Weise einen entsprechend hohen Sockel. Hierdurch ist selbst bei einem kräftig ausladenden Kämpfergesims die untere Kassettenreihe noch deutlich und vollständig vom Fußboden des überwölbten Raumes aus zu erkennen.

Für die Teillinien der zweiten Kassettenreihe wird die Weite $g h = f i$ auf der Erzeugenden abgetragen und nunmehr wiederum ganz im Sinne des für das Ausmitteln des ersten Kassettenzuges Gesagten verfahren. Auf dem beschriebenen Wege erhält man nach und nach die sämtlichen Netzlinien für die Kassetten.

Sollen über Ecke geſtellte oder vieleckig begrenzte Kaſſetten angewendet werden, ſo kann das ſoeben beſprochene Netz als Hauptnetz für das Einzeichnen der Teillinien beliebig geformter Kaſſetten leicht benutzt werden.

Die Stege zwiſchen den aufſteigenden Kaſſettenreihen treten vom Kaſſettenſockel bis zum Kuppelſpiegel mit ſtetig verjüngter Breite auf. Ihre Grenzlinien ſind Meridianbogen der Kuppelfläche. Setzt man die gewünſchte Breite dieſer Stege unter Beachtung der Mittellinien des Hauptnetzes im Grundriſs am Sockel der Kaſſettenreihen feſt, ſo ergeben ſich durch Ziehen der zugehörigen Halbmeſſer die wagrechten Projektionen der Seitenlinien, wie z. B. *su*, der aufſteigenden Stege.

Die Breite der ſämtlichen Querſtege der Kaſſetten wird in der Grundriſsprojektion meiſtens gleich groſs genommen. In der Aufriſsprojektion zeigen ſich dieſe Querſtege dann in Abſchnitten auf der Erzeugenden vom Sockel der Kaſſettenanlage bis zum Spiegel der Kuppel in verjüngter Breite.

Die zeichneriſche Darſtellung der Stege iſt aus Fig. 315 ohne weiteres zu entnehmen. Die Kaſſetten ſollen Vertiefungen im Kuppelgewölbe bilden. Zweckmäſsig iſt die Vertiefung bei den gröſseren Kaſſetten beträchtlicher, als bei den ſtetig kleiner werdenden Kaſſetten. Zum Herbeiführen einer möglichſt geſetzmäſsig und nicht zu ſchroff erfolgenden Abnahme der Vertiefung der aufſteigenden Kaſſettenzüge bildet man die Vertiefungen nach Pyramiden wie *pqo*, deren Spitze *o* in der Ebene der Erzeugenden der Kuppelfläche die Spitze eines gleichſchenkeligen Dreieckes iſt. Die Länge der Schenkel *po* und *qo* ſolcher Dreiecke iſt jedesmal der Teilweite *mn* der zugehörigen Kaſſette gleich, während die Endpunkte der Grundlinie dieſer einzelnen Dreiecke die inneren Punkte *p* und *q* der Querſtege ſind. Die innere Abſchluſsfläche der Kaſſetten wird durch Stücke einer Kuppelfläche erhalten, welcher eine beſondere, in der Form von der gewählten erzeugenden Kurve der eigentlichen Laibungsfläche etwas abweichende Erzeugende gegeben wird. Sie erhält für die unteren Kaſſettenreihen einen gröſseren Abſtand von der Haupterzeugenden der Kuppel als für die oberen Kaſſettenreihen. Ihre Wahl richtet ſich nach der Tiefe, welche man den Kaſſetten unmittelbar über dem Kaſſettenſockel und vor dem Kuppelſpiegel geben will. In der Zeichnung iſt auf der Kuppelachſe der unterhalb *C* gelegene Punkt *I* als Mittelpunkt eines Kreisbogens gewählt, welcher mit dem die Tiefe der Kaſſetten feſtlegenden Halbmeſſer beſchrieben, offenbar das ſtetige Wachſen der Vertiefungen der Kaſſetten vom Kuppelſpiegel bis zum Kaſſettenſockel bedingt. Für eine Kaſſette über *pq* iſt ein Stück *I* dieſes Bogens gezeichnet.

Iſt für eine aufſteigende Kaſſettenreihe die Spitze *o* der zugehörigen Pyramide, iſt auſserdem die Abſchluſslinie *I* der einzelnen Kaſſetten durch die Aufriſsprojektion in einer Meridianebene beſtimmt, ſo laſſen ſich die wagrechten Projektionen der einzelnen Kaſſetten finden. Für die Kaſſette über *pq* iſt *v* die wagrechte Projektion der Pyramidenſpitze *o*. Mit Benutzung des Punktes *v* und der Aufriſsprojektionen der Kaſſette *pq* wird, wie aus der Zeichnung unmittelbar zu erkennen iſt, die Darſtellung des Grundriſſes der Kaſſetten leicht ermöglicht.

Sollen die Kaſſetten ſtaffelartig angelegte Umrahmungen erhalten, ſo iſt das für die Ausmittelung der Kaſſetten angegebene Verfahren nur der Zahl der Staffeln entſprechend oft zu wiederholen.

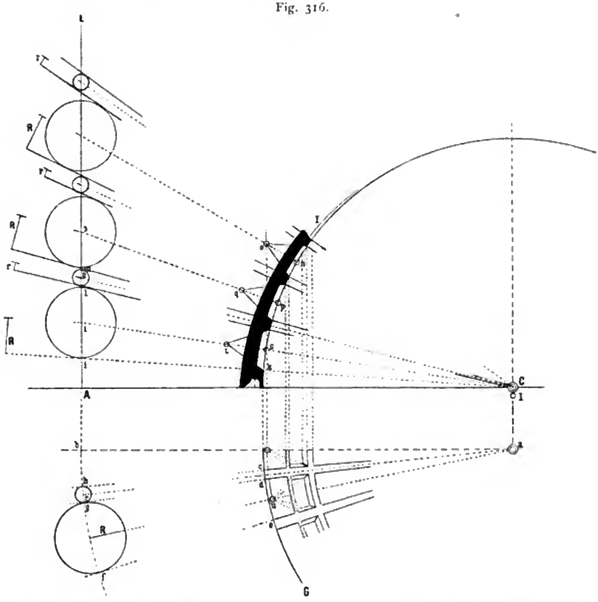
244. II. Verfahren.

Ein zweites Verfahren für die Geſtaltung der Kaſſetten mit ihren Stegen iſt unter der Bezeichnung »*Emy*'ſches Verfahren« bekannt. Hierbei wird nach Fig. 316 der Kreis *G* der oberen Kante *k* des Kaſſettenſockels als Teilkreis für die Weiten *cd*

der unteren Kaffettenreihe und der Breiten *cd* des Fufses der Stege zu Grunde gelegt. Die Meridianfchnitte *ac*, *ad*, *ae* u. f. f. beftimmen die Begrenzungen der Kaffettenreihen.

Für die Aufriffe der Kaffetten und Stege auf der Erzeugenden der Kuppel, welche hier als ein um *C* befchriebener Viertelkreis angenommen ift, werden Hilfskreife mit dem Halbmeffer *R* für die Kaffetten und dem Halbmeffer *r* für die Stege benutzt, welche mit den Teilbreiten *de* und *cd* des Teilkreifes *G* in Abhängigkeit gebracht werden. Hierzu befchreibt man im Grundrifs mit dem beliebigen, entfprechend grofs gewählten Halbmeffer *ab* um *a* den Kreisbogen *bf* und erweitert die Strahlen *ac*, *ad*, *ae* bis zu ihren Schnitten *h*, *g*, *f* mit dem Kreisbogen *bf*. Die Linien *ah* und *ag* follen Tangenten des kleinen Kreifes mit den Berührungspunkten *h* und *g* werden.

Fig. 316.



Der Schnitt der hier nicht gezeichneten Lote in *h* auf *ah* und in *g* auf *ag* beftimmt den Mittelpunkt diefes Kreifes und die Gröfse feines Halbmeffers *r*. Aufserdem follen die Linien *ag* und *af* Tangenten des grofsen Kreifes mit den Berührungspunkten *g* und *f* werden. Lote in *g* auf *ag* und in *f* auf *af* fchneiden fich im Mittelpunkte des gefuchten Kreifes, wonach alsdann die Gröfse des Halbmeffers *R* zu beftimmen ift.

Für den Aufrifs wird in der Meridianebene *CA* der Kuppel die Länge $CA = ab$ abgetragen und in *A* auf *CA* das Lot *AL* errichtet. Durch den gegebenen, in der oberen Sockelkante der Kaffettenreihen liegenden Punkt *k* wird die entfprechend verlängerte Gerade *Ci* gezogen. Das auf *Ci* an beliebiger Stelle errichtete Lot *R* erhält die Länge des Halbmeffers *R* des für die Kaffettenbreite feftgeftellten Hilfskreifes *gf*. Zieht man durch den Endpunkt des Lotes *R* die Parallele zu *Ci*, fo trifft

dieselbe die Gerade AL im Punkte 1. Der um 1 mit dem Halbmesser R beschriebene Kreis wird für die Höhe der ersten Kaffettenreihe maßgebend. Die verlängerte Gerade Ck ist aus Gründen, welche, wie leicht ersichtlich, durch die Zeichnung an und für sich bedingt sind, eine Tangente des Kreises. Zieht man von C aus eine zweite Tangente Cl dieses Kreises, so wird die Höhe der ersten Kaffettenreihe auf der Kuppelerzeugenden erhalten.

Zum Festlegen der nun folgenden Steghöhe wird wiederum in einem beliebigen Punkte der Tangente Cl das Lot r von der Länge des Halbmessers r des für die Stege ermittelten Hilfskreises hg errichtet und durch den Endpunkt dieses Lotes eine Parallele zu Cl gezogen, um im Schnitte 2 dieser Parallelen mit AL den Mittelpunkt des für die Steghöhe maßgebenden Kreises mit dem Halbmesser r zu erhalten. Eine von C aus an diesen Kreis gezogene Tangente Cm schneidet die gesuchte Steghöhe auf der Kuppelerzeugenden ab.

Setzt man die Bestimmung aller folgenden Kaffetten- und Steghöhen in gleicher Weise fort, so sind alle Grundlagen für die Vollendung des Gasamtnetzes der Kaffettenanordnung geschaffen.

Beim *Emy*'schen Verfahren tritt eine stetige Abnahme der Höhen- und Breitenabmessungen, sowohl der Kaffetten selbst, als auch der aufsteigenden Stege und der Querstege, wie aus Fig. 316 erkannt werden kann, ein. Die Vertiefungen der Kaffetten können genau nach den im vorhergehenden Artikel gemachten Mitteilungen unter der Annahme von Hilfspyramiden mit den Spitzen o, q u. s. f. und unter Einführung einer Hilfserzeugenden l bestimmt werden. Bei staffelartig vertieften Kaffetten ist einfach eine Wiederholung des geschilderten *Emy*'schen Verfahrens erforderlich.

245. III. Verfahren.

Wenngleich nach den beiden im vorhergegangenen besprochenen Anordnungen der Kaffetten Anhaltspunkte geboten sind, welche in den verschiedensten Fällen bei der Ausstattung der Laibungsflächen der Kuppelgewölbe durch Füllungen mit reicher oder einfacher Form zu Grunde gelegt werden können, so darf doch nicht unerwähnt bleiben, daß die gegebenen, ziemlich einfachen Darstellungen ihrem Wesen nach etwas gekünstelt erscheinen. Weit unbefangener und auch dem natürlichen Wege, welchen die Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes an sich zeigt, mehr entsprechend, ist allgemein der Anordnung der Kaffetten nahe zu treten, indem man im Sinne der darstellenden Geometrie die Abwickelung der meistens schmalen Meridianstreifen, welche die Kaffetten und Stege enthalten, oder eine sonst gewünschte Ausschmückung aufnehmen sollen, vornimmt. Die abgewickelten Flächenstücke können alsdann einzeln oder, unter Umständen bei zusammenhängendem Schmuck in sachgemäße Verbindung gebracht, für das Einzeichnen der beabsichtigten Ausstattung der Laibungsfläche des Kuppelgewölbes benutzt werden.

Die entworfene Zeichnung ist dann rückläufig in den Grundriß, bezw. in den Aufriß mit Hilfe einer Schar von Meridianlinien zu übertragen.

Diese allgemeine Anordnung zeigt Fig. 317 zunächst für die Anordnung von Kaffetten mit nahezu quadratischer Form.

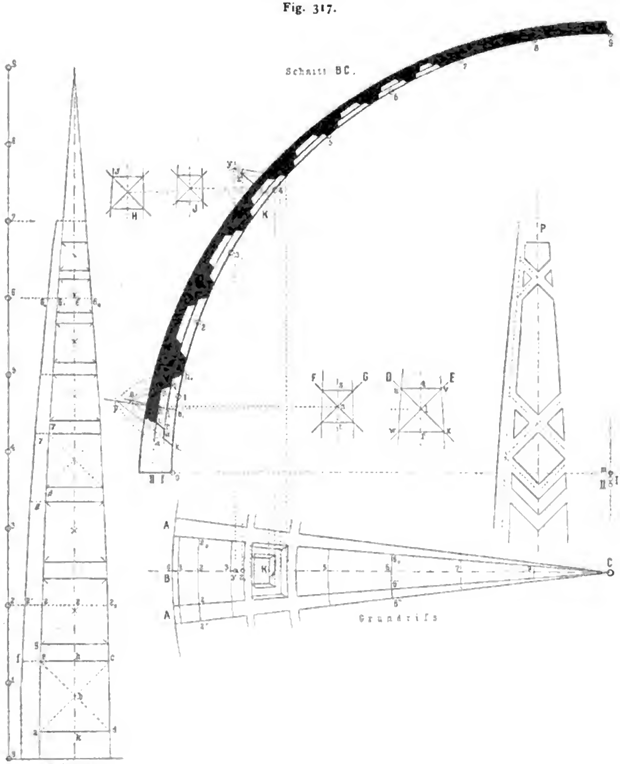
Im Grundriß ist B der Meridianstreifen der Kaffetten und A der Meridianstreifen des aufsteigenden Steges. Im Schnitte BC ist der um m mit dem Halbmesser $mo = Co$ beschriebene Viertelkreis $o9$ die Erzeugende des Kuppelgewölbes.

Der Viertelkreis $o9$ ist in 9 gleiche Teile geteilt. Im Plane der Abwickelung sind die Erstreckungen $o1$, 12 u. s. f. gleich den Bogenlängen $o1$, 12 u. s. f. auf der lotrechten Linie $o9$ abgetragen.

Durch die Punkte o, 1, 2 u. s. f. gezogene Wagrechte müssen bei der durch k lotrecht gelegten Erstreckung der Meridianlinie über Co des Grundrisses die erstreckten Bogenlängen der durch o, 1, 2 u. s. f. um C im Grundriß beschriebenen Bogen der Parallelkreise der Kuppelfläche je zur Hälfte nach links und rechts von der Linie k aus, soweit dabei die Meridianstreifen A und B in Betracht kommen, aufnehmen. So ist z. B. bei der durch 2 angenommenen wagrechten Linie $2\,2_0 = 2\,2$, gleich der Erstreckung der Bogenlänge $2\,2_0 = 2\,2$, im Grundriß für den Meridianstreifen B. Ebenso ist hier für den Meridianstreifen A die Länge $2,\,2_{,,}$ gleich der erstreckten Bogenlänge $2,\,2_{,,}$ im Grundriß. In gleicher Weise ist noch bei der wagrechten Linie $6\,6_0$ in der Abwickelung und dem Bogen $6_0\,6_{,,}$ im Grundriß verfahren.

Iſt die Abwickelung der Meridianſtreifen B und A vollſtändig gezeichnet, ſo kann das Eintragen der unteren und oberen Seitenlinien der Kaffetten in folgender Weiſe geſchehen. In der Höhe k der Abwickelung über dem Fuſse o des Kuppelgewölbes iſt $a\,d$ als erſte untere Kaffettenlinie feſtgelegt. Von a und d aus ſind unter einem Winkel von 45 Grad zu $a\,d$ die Linien $a\,c$ und $d\,c$ gezogen. Die Wagrechte $c\,c$ beſtimmt die obere Linie der nahezu quadratiſch geformten Kaffette.

Fig. 317.



Um die Breite des nun folgenden Querſteges zu erhalten, iſt die Gerade $c\,c$ bis zur Abwickelungslinie des Meridianſtreifens für den aufſteigenden Steg nach f zu führen und in f eine Linie $f\,g$ unter 45 Grad zu $c\,f$ zu ziehen. Die durch g gelegte Wagrechte giebt die untere Seite der zweiten Kaffettenreihe. Auf dieſem Wege ſchreitet man nach und nach vor, um, wie aus dem Plane der Abwickelung

genau zu verfolgen ift, die Kaffetten- und Steganlage vollftändig in der Abwickelung zur Darftellung zu bringen.

Das Zurückführen der unteren und oberen Seitenlinien der Kaffetten auf die Gewölbfläche wird mittels der Erzeugenden *o 9* im Schnitte *B C* vorgenommen. Hier ift z. B. die Bogenlänge $k_1 b_1$ durch Benutzung kleiner Teilftrecken der Länge *k b* gleich der Erftreckung *k b* der Abwickelung abzutragen. Ebenfo ift die Bogenlänge $b_1 h_1$ fo abzumeffen, dafs diefelbe der Erftreckung *b h* gleich wird. Gleiches gilt für die Stegbreiten.

Sind alle Kaffettenhöhen hiernach auf *o 9* im Schnitte *B C* beftimmt, fo find die Grundrifsprojektionen leicht anzugeben.

Sollte etwa, wie im Plane *P* ausgeführt ift, eine befonders geformte Kaffettenanlage Platz greifen, fo ift ihr Entwurf auf dem zugehörigen abgewickelten Meridianftreifen vorzunehmen und alsdann unter Einfugung von Parallelkreifen und Meridiankreifen in die Aufrifs- und Grundrifsprojektion der Kuppelfläche forgfam zu übertragen. Die Vertiefungen der Kaffetten werden wiederum mittels Hilfspyramiden ganz in der hinlänglich befprochenen Weife feftgeftellt.

In der Zeichnung find ftaffelförmige Kaffetten dargeftellt. Deshalb wurden für jede Kaffette, wie bei *K'*, bezw. $k_1 h_1$, zwei Hilfspyramiden in Anwendung gebracht. Die hierfür erforderlichen Aufrifs- und Grundrifsprojektionen können nach den Angaben der Zeichnung leicht erkannt werden.

Hierbei ift nur zu beachten, dafs für die inneren beiden Flächen der ftaffelförmigen Kaffetten die um *I* und *II* befchriebenen beiden Hilfserzeugenden *I* und *II* zu berückfichtigen find. Die abgewickelten inneren Flächen, wie z. B. *D E* und *F G* für die Kaffette $k_1 h_1$ oder *H* und *J* für die Kaffette *K'*, find bei der angenommenen ftaffelförmigen Anordnung unter Benutzung der Erzeugenden *I* und *II* zu zeichnen.

Eine befondere, fchief angefchnittene und ftark unterfchnittene, dreifach geftaffelte Kaffettenanordnung ift bei der kreisrunden Kuppel des Pantheon in Rom zu bemerken. Näheres hierüber, begleitet von kritifchen, fehr zu würdigenden Erörterungen ift in Teil II, Band 2 diefes »Handbuches« zu finden, worauf hier hingewiefen werden kann.

b) Stärke der Kuppelgewölbe und ihrer Widerlager.

246. Stabilität der Kuppelgewölbe.

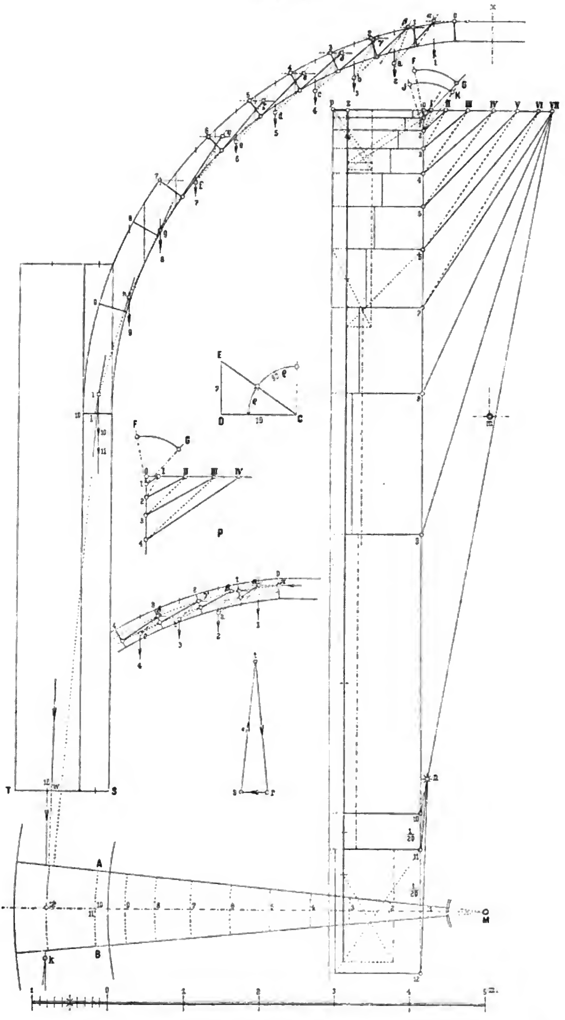
Bei der Befprechung der Stabilität der bufigen Kappen der gotifchen Kreuzgewölbe ift bereits in Art. 196 bis 203 (S. 320 bis 329) eine Gruppe von Grundlagen mitgeteilt, welche geradezu bei der Prüfung der Stabilität der Kuppelgewölbe ohne weiteres wieder zu benutzen find. Diefe Grundlagen folgen dem Prinzipe des kleinften Widerftandes, welches *Scheffler*[31]) bewiefen hat. Hier erübrigt nur noch, unter Benutzung der foeben erwähnten, bei der Prüfung der Stabilität der bufigen Kappen des gotifchen Kreuzgewölbes gemachten Mitteilungen, den Gang der Stabilitätsunterfuchung des Kuppelgewölbes näher zu erläutern.

In Fig. 318 ift ein Kuppelgewölbe aus Backfteinmaterial von 10^{m} Durchmeffer ftatifch unterfucht. Die Erzeugende der Kuppelfläche ift als Viertelkreis gewählt. Im Scheitel des Gewölbes bleibt eine Lichtöffnung von 1^{m} Durchmeffer. Die Stärke des Gewölbes ift vorläufig im Scheitel zu $0{,}25^{m}$, am Gewölbfufse *l* zu $0{,}38^{m}$ angenommen.

Aus der Kuppel ift der Meridianftreifen mit der wagrechten Projektion *M A B*, deffen mittlere Dicke *A B* in der Widerlagsfuge *10* des Gewölbes 1^{m} beträgt, entnommen. Der nach der lotrechten Ebene *M 10* geführte Schnitt des Meridianftreifens ift im Aufrifs dargeftellt. Diefe Ebene ift Kräfteebene. Die Bogenfläche *o* bis *10* des Gewölbkörpers ift in 10 Teilftreifen zerlegt und für jede Teillinie nach den in Art. 24 (S. 60) gegebenen Ausführungen die zugehörige, nach *m* gerichtete Wölbfuge eingezeichnet.

31) Siehe: SCHEFFLER, H. Die Hydraulik auf neuen Grundlagen. Leipzig 1891.

Fig. 318.



Bei der verhältnismäfsig geringen Breite der durch lotrechte Teillinien begrenzten Teilftreifen kann ihr Schwerpunkt als in ihrer Mittellinie liegend angenommen werden. Ift das Kuppelgewölbe im Scheitel gefchloffen, fo ift das erfte obere Teilftück als keilförmiger Körper zu behandeln und fein Schwerpunkt danach zu beftimmen. Die Lage der Geraden, worin die Gewichte *1*, *2* u. f. f. der den Teilftreifen zugewiefenen Gewölbkörper wirken, ift hierdurch bekannt. Die Abfchnitte diefer Gewichtslinien innerhalb der Bogenfläche beftimmen meiftens auch die mittlere Höhe der einzelnen Gewölbkörper. Die Fufspunkte *1*, *2* bis *10* der Gewichtslinien auf *M10* im Grundrifs *MAB* des Meridianftreifens dienen alsdann gleichfalls zur Angabe der mittleren Dicke der Gewölbkörper.

Die um *M* mit den Halbmeffern *M1*, *M2* u. f. f. zwifchen *MA* und *MB* befchriebenen Kreisbogen ergeben diefe mittleren Dicken.

Nach der freien Wahl der fog. Bafis $pz = 0{,}20^{m}$ und der Annahme der Strecke $zo = 1^{m}$ ift genau nach den Erörterungen in Art. 130 (S. 223) die Gröfse der Körperinhalte, bezw. der Gewichte der Teilftücke in der im Plane bei *m* gezeichneten Strecke *o* bis *10* dargeftellt.

Unter Verwendung diefes Gewichtsplanes ift nunmehr, im vollften Einklange mit dem in Art. 196 bis 202 (S. 320 bis 327) Vorgetragenen, die ftatifche Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes anzuftellen. Hierbei fei die Gröfse des Reibungswinkels ρ des Materials durch $\operatorname{tg} \rho = 0{,}7$ gegeben und als Winkel *DCE* aufgetragen.

Der erfte Wölbftein des oben offenen Gewölbes befitzt die Gewichtslinie *1* und das Gewicht gleich der Strecke *o1*.

Die durch den höchften Punkt *o* des Rückens diefes Steines geführte Wagrechte giebt mit der Gewichtslinie *1* den Schnitt α.

Die Fuge *1* wird von der Gewichtslinie *1* nicht getroffen. Die Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften, höchften Kranzfteines wirkt in der durch *o* geführten wagrechten Linie $o\alpha$. Soll diefe Mittelkraft für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen und Gleiten einen möglich kleinften Wert annehmen, fo ift ihre Gröfse *Io* im Kräfteplane unter Beachtung des in Art. 199 (S. 323) Gefagten zu beftimmen.

Die durch α und den tiefften Punkt der Fuge *1* punktiert gezogene Linie giebt die Lage der Refultierenden, welche aus dem Gewichte *1* des erften Kranzfteines und der noch unbekannten in $o\alpha$ wirkenden Mittelkraft der Seitenpreffungen diefes Kranzfteines entftehen mufs, wenn eben noch der Gleichgewichtszuftand gegen Drehung des Kranzfteines um die untere Kante der Fuge *1* vorhanden fein foll. Diefe Refultierende fchliefst jedoch mit der Normalen zur Fugenrichtung *1*, wie fich aus dem Kräfteplane ergiebt, einen gröfseren Winkel ein, als der feftgefetzte Reibungswinkel ρ zuläfst.

Alsdann zieht man im Gewichts- oder Kräfteplane durch den Endpunkt *1* der Gewichtsftrecke *o1* des erften Kranzfteines die Gerade *1F* parallel zur Fugenrichtung *1*, und verwendet man nunmehr nach den in Art. 198 (S. 322) gegebenen Ausführungen fofort den Winkel $F1G = 90 - \rho$, fo fchneidet der Schenkel *1G* eine Kraftftrecke *Io* als Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines ab, welche gröfser ift, als die vorhin bei der Prüfung des Gleichgewichtszuftandes gegen Drehen entftehende Mittelkraft jener Preffungen. Der parallel zu *G1* durch α im Meridianfchnitte gezogene Strahl αa trifft die Fuge *1* innerhalb der Schnittfläche des Gewölbes; mithin ift *Io* der möglich kleinfte Wert der Mittelkraft der Seitenpreffungen des erften Kranzfteines, welche wachgerufen werden, um diefen Kranzftein im Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten zu erhalten.

Setzt man die in αa thätige Refultierende *I1* der Seitenkräfte *Io* und *o1* mit dem Gewichte *12* des zweiten Kranzfteines im Gewichtsplane zur Refultierenden *I2* zufammen; zieht man, da diefe Refultierende im Gewölbplane durch den Schnitt *a* der in αa wirkenden Refultierenden des erften Kranzfteines mit der Gewichtslinie *2* des zweiten Kranzfteines gehen mufs, die Parallele $a\beta$ zu *I2* — fo erkennt man, dafs diefe in βa wirkende Mittelkraft *I2* die Fuge *2* innerhalb des Gewölbfchnittes gar nicht trifft. Deshalb mufs zum Herftellen des Gleichgewichtszuftandes des zweiten Kranzfteines gegen Drehen und gegen Gleiten wiederum eine Zufatzkraft thätig werden, die als Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines zur Annahme eines möglich kleinften Wertes zunächft durch den oberen Punkt *1* der Fuge *1* geht und ihren Angriffspunkt im Schnitte β der in βa wirkenden Refultierenden *I2* mit der durch *1* geführten wagrechten Linie 1β erhält.

Sodann mufs die zu beftimmende, in 1β wirkende Mittelkraft der Seitenpreffungen des zweiten Kranzfteines eben Gleichgewicht gegen Drehen und gegen Gleiten bewirken können.

Für das Gleichgewicht gegen Drehen wird diefe Mittelkraft am kleinften, fobald die Refultierende aus *I2* und diefer noch unbekannten Mittelkraft in der Richtung βb durch den tiefften Punkt der Fuge *2* geht. Zieht man im Gewichtsplane *2II* parallel zu βb, fo ift *III* die für den Gleichgewichtszuftand gegen Drehen des zweiten Kranzfteines erforderliche möglich kleinfte Mittelkraft der zugehörigen Seitenpreffungen.

Für das Gleichgewicht gegen Gleiten ist diese Mittelkraft aber so zu bestimmen, dafs die Richtung der Resultierenden aus der Kraft *I 2* und dieser noch unbekannten Mittelkraft mit der Normalen zur Fugenrichtung *2* keinen den Reibungswinkel ρ überschreitenden Winkel einschliefst.

Zieht man durch den Punkt *2* im Gewichtsplane die Gerade *2 J* parallel zur Fugenrichtung *2* und verwendet man in bekannter Weise den Winkel $J 2 K = 90 - \rho$, so ergiebt sich, dafs die durch β parallel mit *2 K* geführte Gerade die Bogenfläche des Gewölbes innerhalb der Fuge *2* nicht trifft, dafs daher zum Festsetzen der Mittelkraft der Seitenpressungen des zweiten Kranzsteines die Prüfung des Gleichgewichtszustandes gegen Drehung allein hier schon mafsgebend wird.

Für alle folgenden Fugen tritt eine Berücksichtigung des Reibungswinkels nicht mehr ein (vergl. Art. 203, S. 333 und Fig. 283).

Für die Fuge *3* kommt zunächst die in βb wirkende Resultierende *II 2* in Betracht. Dieselbe setzt sich alsdann in *b* mit dem Gewichte *2 3* des dritten Kranzsteines zu einer Resultierenden *II 3* zusammen. Die Gerade γb parallel zu *II 3* durch *b* im Gewölbplane geführt, giebt ihre Lage für die Bogenfläche des Gewölbes. Sie schneidet die durch den oberen Punkt *2* der Fuge *2* gezogene Wagrechte in γ. Die durch γ und den tiefsten Punkt der Fuge *3* geführte Gerade γc bedingt die Lage der für das Gleichgewicht gegen Drehen des dritten Kranzsteines eintretenden Resultierenden, deren Seitenkräfte als *II 3* und als die noch zu bestimmende wagrechte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines sich geltend machen. Zieht man *3 III* im Gewichtsplane parallel zu γc, so ist *III II* die gesuchte Mittelkraft der Seitenpressungen des dritten Kranzsteines.

Auf ganz gleichem Wege fährt man in der Zusammensetzung der für die folgenden Kranzsteine in Frage kommenden Kräfte fort, um in den Strecken *IV III*, *V IV*, *VI V* und *VII VI* die Mittelkräfte der Seitenpressungen für den 4., 5., 6. und 7. Kranzstein durch Zeichnung zu bestimmen. Für den 8. Kranzstein oberhalb der Fuge *8* kommt eine wagrechte Mittelkraft von Seitenpressungen nicht mehr in Thätigkeit. Die in der Richtung ηg bis zur Fuge *7* auftretende Resultierende *VII 7* setzt sich in *g* mit dem Gewichte *7 8* des 8. Kranzsteines zur Mittelkraft *VII 8* zusammen. Die durch *g* parallel zu *VII 8* geführte Gerade *g h* trifft bereits die Fuge *8* innerhalb der Bogenfläche, so dafs schon ohne Eintritt einer Mittelkraft von Seitenpressungen in der durch den oberen Punkt *7* geführten Wagrechten für diesen Kranzstein Sicherung gegen Drehen vorhanden ist.

Das Gleiche gilt für den 9. und 10. Kranzstein.

Aus dem Kräfteplane ergiebt sich in *I 1*, *II 2* u. s. f. bis *VII 7*, *VII 8*, *VII 9* und *VII 10* der Reihe nach jedesmal der Druck auf die entsprechende Lagerfläche der Fugen *1*, *2* u. s. f. bis *7*, *8*, *9* und *10*.

Würden diese resultierenden Drücke der Lagerfugenflächen über die äufseren, in der Rückenlinie des Meridianstreifens liegenden Fugenkanten hinausfallen oder mit der Normalen der zugehörigen Fuge von unten einen Winkel einschliefsen, welcher gröfser als der Reibungswinkel ρ ist, so ist das untersuchte Kuppelgewölbe nicht standfähig, da im ersten Falle kein Gleichgewicht gegen Drehen, im letzten Falle kein Gleichgewicht gegen Gleiten vorhanden ist.

Die Resultierende aller wagrechten Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine ist gleich der Summe dieser Mittelkräfte, also gleich der Strecke *VII o*. Sie giebt die Gröfse des wagrechten Schubes an, welcher vom Meridianstreifen des Kuppelgewölbes in der Widerlagsfuge *10* auf den Widerlagskörper übertragen wird.

Zu bemerken ist, dafs dieser resultierende wagrechte Schub seinen gröfsten Wert *VII o* bereits für die Fuge *7* erreicht hat. Die Fuge, welcher überhaupt der gröfste resultierende wagrechte Schub zunächst zu teil wird, heifst auch beim Kuppelgewölbe B r u c h f u g e oder B r e c h u n g s f u g e. In der Zeichnung ist also Fuge *7* die Bruchfuge. Unterhalb der Bruchfuge müssen bei einem stabilen Gewölbe die Angriffspunkte der einzelnen Lagerfugendrücke *g h* = *VII 8*, *h i* = *VII 9* und *i l* = *VII 10* für die zugehörigen Fugen *8*, *9* und *10*, wie hier der Fall ist, innerhalb der Bogenflächen bleiben.

Wird die Forderung erhoben, dafs sowohl die Angriffspunkte der Lagerfugendrücke, als auch die wagrechten Linien, worin die Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine wirken, das Gebiet des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianstreifens nicht verlassen sollen, so kann, wie der Plan *P* in Fig. 318 sofort erkennen läfst, die Stabilitätsuntersuchung des Kuppelgewölbes unter Beachtung des Flächenstückes, welches dem inneren Drittel der Bogenfläche entspricht, dem Wesen nach ganz so vorgenommen werden, wie im Hauptplane gezeigt ist. Zugleich kann hierbei auf Art. 201 (S. 326) verwiesen werden.

247. Stabilität der Widerlager.

In unmittelbarem Zusammenhange mit der statischen Untersuchung des Meridianstreifens kann die Prüfung der Stabilität des Widerlagers des Kuppelgewölbes in einfacher Weise durch Zeichnung vorgenommen werden.

Der in Fig. 318 im Grundrifs und Schnitt dargeftellte Widerlagskörper ift aus 2 Teilftreifen mit den Gewichten *11* und *12* gebildet. Die Gewichtsftrecken *10 11* des Teilkörpers *11* und *11 12* des Stückes *12* find im Gewichtsplane zur Vermeidung fehr langer Kräfteftrecken nur in $^1/_{20}$ ihrer fonft erforderlichen Längen aufgetragen.

Der in der Linie *il* auf die Widerlagsfuge gelangende Druck *VII 10* fetzt fich mit dem Gewichte *11* des unterhalb der Fuge *10* vorhandenen Widerlagsteiles zu einer durch den Schnitt *i* der Gewichtslinie *11* mit dem Strahle *il* gehenden Mittelkraft zufammen. Um diefe Mittelkraft zu beftimmen, mufs, da das Gewicht des Teilftreifens *11* in $^1/_{20}$ feiner Gröfse dargeftellt ift, auch die Kraftftrecke *VII 10* nur in $^1/_{20}$ ihrer Gröfse benutzt werden.

Die Strecke *n 10* ift $^1/_{20}$ der Strecke *VII 10*; mithin ift *n 11* die gefuchte Mittelkraft ebenfalls in $^1/_{20}$ ihrer Gröfse.

Zieht man die Gerade *ik* parallel zur Linie *n 11*, fo ergiebt fich in *ik* die Lage der fraglichen Mittelkraft. Sie trifft die Gewichtslinie *12* im Punkte *k*. Die Zufammenfetzung von *n 11* und *11 12* ergiebt die Mittelkraft *n 12*. Zieht man durch *k* die Gerade *wk* parallel zu *n 12*, fo ift im Strahle *wk* die Lage diefer Mittelkraft im Plane des Widerlagers beftimmt. Sie trifft die als feft vorausgefetzte Fufsebene *ST* des Widerlagskörpers im Punkte *w*. Da der Abftand *Tw* hier noch etwas gröfser als $^1/_3$ *ST* gefunden ift, fo ift entfprechende Sicherheit des angenommenen Widerlagers gegen Drehung vorhanden. Da die Richtung *wk* mit der Normalen zu *ST* einen Winkel einfchliefst, welcher weit kleiner als der Reibungswinkel ρ bleibt, fo ift auch Gleichgewicht gegen Gleiten bekundet.

Will man die Stabilität des Widerlagers unter Beachtung des inneren Drittels der Bogenfläche des Meridianftreifens prüfen, fo erleidet das Wefen der hierbei zu verfolgenden Schritte, welche aufserdem mit der in Art. 23 (S. 57) befprochenen Beftimmung der Widerlagsftärke des Tonnengewölbes in vollfter Uebereinftimmung ftehen, keine Beeinträchtigung.

248. Gewölbftärke.

Auf Grund der Ergebniffe der ftatifchen Unterfuchung des Meridianftreifens des Kuppelgewölbes ift die Gewölbftärke in der in Art. 204 (S. 335) angegebenen Weife näher feftzuftellen.

Die gröfste wagrechte Mittelkraft der Seitenpreffungen der einzelnen Kranzfteine ift die Kraft *IV III* der vierten Kranzfchicht. Trägt man *sr* = *IV III* auf, zieht man durch *r* die Lotrechte zu *MB* und durch *s* die Lotrechte zu *MA* des Grundriffes *MAB* vom Meridianftreifen, fo erhält man in *st*, bezw. *tr* die normalen Seitenpreffungen des 4. Kranzfteines. Für alle übrigen Kranzfteine find derartige Seitenpreffungen kleiner, weil alle übrigen zugehörigen Mittelkräfte kleiner als *IV III* find.

Aus praktifchen Gründen, namentlich zur Vermeidung einer zu bedeutenden Zahl ungleich ftarker Wölbfchichten, geht man für die Berechnung der von den normalen Seitenpreffungen zunächft abhängigen Gewölbftärke von den gröfsten diefer Preffungen aus. Diefe normalen Preffungen *st* = *tr* find im Plane gemeffen gleich $1{,}75$ m. Die Bafis ift $pz = 0{,}20$ m; folglich ift die normale Preffung gleich $1{,}75 \cdot 0{,}20 = 0{,}35$ cbm. Die zwifchen den Fugen *3* und *4* des Meridianftreifens gegebene mittlere Breite des 4. Kranzfteines mifst $0{,}58$ m.

Zur Anwendung der beim Normaldrucke bei einer Tiefe gleich 1 m abgeleiteten Gleichung 53 (S. 47) ift N für die Stofsflächen des 4. Kranzfteines zu berechnen als

$$N = \frac{0{,}35 \cdot 1}{0{,}58} = 0{,}6 \text{ cbm}.$$

Nach der eben bezeichneten Gleichung ergiebt fich für Backfteinmaterial eine Stärke

$$d_1 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 - 0{,}6)\, 0{,}6} = 0{,}12 \text{ m},$$

d. h. gleich einer Backfteinbreite.

Der Lagerfugendruck für die Fuge *4* ift gleich *IV 4*. Sieht man diefen Druck vermöge feiner nur geringen Abweichung von der normalen Stellung zur Fugenrichtung *4* fofort als zugehörigen Normaldruck an, fo wird, da *IV 4* = $1{,}25$ m mifst und die mittlere Dicke der Lagerfugenfläche *4* nach dem Grundrifs *MAB* des Meridianftreifens zu $0{,}50$ m erhalten wird, unter Beachtung der Bafis $pz = 0{,}20$ m die Mafszahl des Normaldruckes der Lagerfuge *4* für die Tiefe gleich 1 m als

$$N = \frac{1{,}25 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{0{,}50} = 0{,}5 \text{ cbm}$$

gefunden. Diefer Wert giebt nur eine Stärke

$$d_2 = \frac{1}{150} \sqrt{(540 = 0{,}50)\, 0{,}50} = \backsim 0{,}11 \text{ m}.$$

Da fonach d_2 kleiner als d_1 wird, fo ift in erfter Linie die Stärke $d_1 = 0{,}12$ m zu berückfichtigen.

Für die Fuge *7* ift der Lagerfugendruck gleich $VII\,7 = 3{,}10\ \mathrm{m}$ und die mittlere Dicke gleich $0{,}80\ \mathrm{m}$; folglich wird, da ηg als Parallele zu $VII\,7$ als Normale zur Fugenrichtung *7* beibehalten werden kann, für die Tiefe gleich $1\ \mathrm{m}$ berechnet

$$N = \frac{3{,}10 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{0{,}80} = 0{,}775\ \mathrm{cbm} = \sim 0{,}8\ \mathrm{cbm}.$$

Hierfür wird die Gewölbftärke

$$d_3 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 0{,}80)\,0{,}80} = \sim 0{,}14\ \mathrm{m},$$

alſo gröfser als eine halbe Backfteinlänge.

Für die Widerlagsfuge *10* ift der Normaldruck entfprechend der Gewichtsftrecke $o\,10 = 9{,}35\ \mathrm{m}$ bei der mittleren Dicke gleich $1\ \mathrm{m}$ zu berechnen als

$$N = \frac{9{,}35 \cdot 0{,}20 \cdot 1}{1} = 1{,}87\ \mathrm{cbm}.$$

Diefer Normaldruck erfordert eine Gewölbftärke

$$d_4 = \frac{1}{150}\sqrt{(540 - 1{,}87)\,1{,}87} = 0{,}21\ \mathrm{m},$$

alfo nahezu eine Backfteinlänge.

Die im vorftehenden berechneten Gewölbabmeffungen find durchweg kleiner als die in der Zeichnung angenommenen Stärken. Sie liefern Grenzwerte, welche bei einer nunmehr zum zweitenmal durchzuführenden Stabilitätsunterfuchung des Kuppelgewölbes in Betracht zu ziehen find.

Zu diefem Zwecke wird für den neuen Meridianftreifen, da für die Fuge *7* fchon $0{,}14\ \mathrm{m}$ Stärke eintreten müfste, bis zur Fuge *6* eine Gewölbftärke zu $^1/_2$ Backftein, von Fuge *6* bis zur Widerlagsfuge *10* dagegen eine Gewölbftärke zu 1 Backftein angenommen und nunmehr ganz in der bei Fig. 318 angegebenen Weife die Stabilitätsunterfuchung diefes fchwächeren Meridianftreifens durchgeführt.

Im vorliegenden Falle ergiebt diefe hier nicht weiter dargeftellte Unterfuchung jedoch den Ausweis, dafs die Gewölbftärken im allgemeinen und befonders in der Widerlagsfuge *10* wieder zu vergröfsern find, fo dafs die in Fig. 318 vorweg angenommenen Gewölbftärken zweckmäfsig beibehalten werden.

Die in Fig. 318 enthaltene ftatifche Unterfuchung des Widerlagers, abhängig 249. Widerlags-ftärke.
gemacht von den im Meridianftreifen wachgerufenen Kräften, welche zur Herftellung des Gleichgewichtszuftandes einem möglich kleinften Werte entfprechen, liefert das Ergebnis der ficheren Standfähigkeit des Stützkörpers, da der Angriffspunkt w der letzten in Betracht zu ziehenden Refultierenden wk noch innerhalb des inneren Drittels der Stärke ST des Widerlagers liegt, da aufserdem die Mittellinie des Druckes die Widerlagsfläche nicht verläfst und da endlich auch eine Gefahr des Gleitens nicht bekundet ift.

Sollte die Strecke Tw genau gleich $\frac{ST}{3}$ werden, fo könnte die Breite des Teilftreifens *12* fogar noch etwas verkleinert werden.

Eine noch gröfsere Sicherheit für die Standfähigkeit des Widerlagers läfst fich einführen, fobald, wie im Plane P von Fig. 318 angedeutet ift, die im Meridianftreifen zu ermittelnden Preffungen unter der Benutzung des inneren Drittels der Bogenfläche beftimmt und bei der fortgefetzten ftatifchen Unterfuchung des Widerlagers in bekannter Weife derart benutzt werden, dafs der Angriffspunkt w den Abftand gleich einem Drittel der Widerlagsftärke von der Aufsenkante des Stützkörpers erhält.

In dem in der Zeichnung behandelten Falle ift die Stärke ST des Widerlagers gleich $1{,}25\ \mathrm{m}$. Der Durchmeffer des betrachteten Kuppelgewölbes ift $10\ \mathrm{m}$; mithin ift die Widerlagsftärke gleich $\frac{1{,}25}{10} = \frac{1}{8}$ diefes Durchmeffers.

Der refultierende wagrechte Schub, welcher vom Meridianftreifen bei der 250. Fufsring.
mittleren Dicke $1\ \mathrm{m}$ am Fufse in der Widerlagsfuge des Kuppelgewölbes auf den

Widerlagskörper übertragen wird, kann durch einen um den Gewölbfufs gelegten eifernen Ring aufgenommen und vernichtet werden.

Durch diefen Fufsring wird die Sicherung des Gewölbfufses, bezw. die verminderte Beanfpruchung des Widerlagers erreicht.

Die Berechnung des meiftens rechteckig genommenen Querfchnittes des Fufsringes, welcher eine Zugfpannung von der Gröfse der zu vernichtenden, normal zu den Seitenebenen des Meridianftreifens ftehenden Seitenkräfte des refultierenden wagrechten Schubes aufzunehmen hat, erfolgt unter Anwendung der Gleichung 152 (S. 325)

$$p = \frac{HR}{D}.$$

Hierin ift p nunmehr als Gröfse der Zugfpannung, welche der Querfchnitt des Fufsringes aufzunehmen hat, in Kilogramm zu beftimmen, indem zuvor der refultierende wagrechte Schub H in Kilogramm berechnet ift. Bei $\frac{R}{D}$ kann R als Halbmeffer des Bogens AB der mittleren Dicke der Widerlagsfuge und D als diefe mittlere Dicke felbft in Metern bleiben.

H wird in der Zeichnung, wie hier in $VIIo$, als Linie erhalten, welche die Höhe des Steinprismas vom Wölbmaterial angiebt, deffen rechteckige Grundfläche eine Länge von 1^{m}, aber eine Breite gleich der Bafiszahl, welche beim Auftragen der Gewichtsftrecken der Teilftreifen des Gewölbes benutzt wird, befitzt.

Bezeichnet B die Bafiszahl (in Met.), γ das Gewicht von 1^{cbm} des Wölbmaterials (in Kilogr.), fo wird

$$p = \frac{H \,.\, 1 \,.\, B \gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

Ift ferner f die gefuchte Querfchnittsfläche (in Quadr.-Centim.), s die zuläffige Zugfpannung (in Kilogr.) für 1^{qcm}, fo ift

$$p = fs = \frac{H B \gamma R}{D} \text{ Kilogr.}$$

und folglich

$$f = \frac{H B \gamma R}{s D} \text{ Quadr.-Centim.} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 153.$$

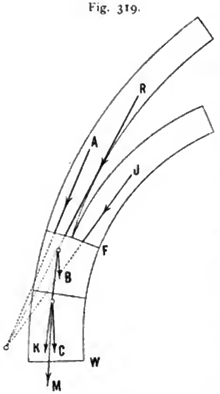
Beifpiel. In Fig. 318 ift $H = VIIo$ zu $1{,}70^{m}$ gemeffen; ferner ift $B = 0{,}20^{m}$, $\gamma = 1600^{kg}$, $R = 5{,}20^{m}$ und $D = 1^{m}$; s fei $= 700^{kg}$ für 1^{qcm}. Alsdann ift

$$f = \frac{1{,}70 \,.\, 0{,}20 \,.\, 1600 \,.\, 5{,}20}{700 \,.\, 1} = 4{,}04^{qcm}.$$

Ein fchmiedeeiferner Fufsring mit einem rechteckigen Querfchnitte von 1^{cm} Breite und 4^{cm} Höhe würde den refultierenden wagrechten Schub vernichten.

251. Doppelkuppel. Bei Doppelkuppeln ift die ftatifche Unterfuchung auf dem in Art. 246 (S. 376) befchriebenen Wege für die Innen- und Aufsenkuppel befonders vorzunehmen. Vereinigen fich beide Kuppeln oberhalb ihres Gewölbfufses in einer gemeinfchaftlichen Fuge F (Fig. 319), fo erfolgt die getrennte ftatifche Unterfuchung der äufseren und inneren Kuppel bis zu diefer Fuge F. Ift J der refultierende Fugendruck der Innenkuppel und A der refultierende Fugendruck der Aufsenkuppel, fo find diefe für die Fuge F vorhandenen Drücke zunächft zu einer Refultierenden R zufammenzufetzen, um alsdann durch ihre Vereinigung mit den Gewichten B, C u. f. f. der Teile des gemeinfchaftlichen Kuppelgewölbftückes, welches zwifchen der Fuge F und der

Fig. 319.



Widerlagsfuge *W* liegt, nach und nach unter Einführung der entstehenden Mittelkräfte *K*, *M* u. s. f. die Stabilitätsuntersuchung zu vollenden.

Der resultierende wagrechte Schub, welcher vom Meridianstreifen der Doppelkuppel in der Widerlagsfuge auf den Widerlagskörper übertragen wird, ist gleich der Summe der sämtlichen wagrechten Mittelkräfte der Seitenpressungen der einzelnen Kranzsteine der Aussen- und Innenkuppel. Die Prüfung der Stabilität des Widerlagers selbst erfolgt auch für Doppelkuppeln in der in Art. 247 (S. 379) angegebenen Weise. Ebenso richtet sich die Bestimmung der Gewölbstärke beider Kuppeln nach dem in Art. 248 (S. 380) Vorgetragenen.

252. Stutz- oder Hängekuppel.

Die statische Untersuchung der Stutz- oder Hängekuppel (Art. 235, S. 365) ist, wie beim gewöhnlichen Kuppelgewölbe, in der Weise durchzuführen, als zunächst ein am weitesten gespannter Meridianstreifen der Hängekuppel, dessen mittlere lotrechte Meridianebene in den meisten Fällen durch eine Ecke des als Quadrat, Rechteck oder Vieleck gegebenen Grundrisses des Gewölbes gehen muss, der erforderlichen Prüfung unterworfen wird.

Die Ergebnisse dieser Prüfung sind unmittelbar auf die weniger weit gespannten Meridianstreifen, welche natürlich in ihrer mittleren Fussdicke im Grundkreise der Kuppel und in ihrer Belastung, wie gewöhnlich der Fall, keine Abweichung vom Hauptstreifen aufweisen müssten, zu übertragen.

Hiernach treten dieselben Gesichtspunkte, welche in Art. 203 (S. 329) bei der Zerlegung der busigen Kappen gotischer Kreuzgewölbe angeführt sind, im wesentlichen wieder in den Vordergrund. Auch die Bestimmung der Gewölbdrücke, welche von den verschieden weit gespannten Meridianstreifen auf die Widerlagskörper gelangen, ist unter Beachtung des in dem bezeichneten Artikel Vorgetragenen zu treffen.

253. Kuppel mit Laterne.

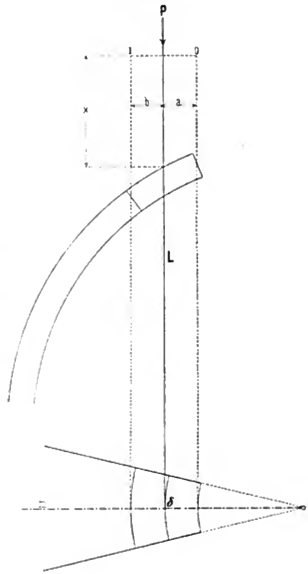
Wird das oben offene, durch den Lichtring im Scheitel begrenzte Kuppelgewölbe mit einer Laterne, dessen Träger meistens der Lichtring selbst ist, versehen, so erfährt das Kuppelgewölbe hierdurch eine besondere Belastung, welche je nach dem Gewichte der Laterne von geringem oder erheblichem Einfluss auf die Stabilität und die Stärke des Gewölbes sein kann.

Wird das auf den Kranzstein des Meridianstreifens entfallende Gewicht des zugehörigen Laternenstückes durch das Gewicht eines Steinprismas des Wölbmaterials ersetzt und mit dem Gewichte des Kranzsteines vereinigt, so ist die Belastung dieses Kranzsteines, bezw. des Teilstückes im Meridianstreifen bekannt. Die unter Beachtung dieser Belastung einzuleitende statische Untersuchung des Meridianstreifens weicht im Wesen von den zu Fig. 318 (S. 377) gegebenen Erläuterungen nicht ab.

Ist z. B. *L* in Fig. 320 die lotrechte Schwerlinie des für den zu Grunde gelegten Meridianstreifen *m* in Frage kommenden Laternenstückes, so muss diese Linie *L* auch Schwerlinie oder, genau genug, die Mittellinie des ersten Teilstreifens für den zugehörigen Kranzstein bleiben.

Man hat alfo den Abftand a der Lotrechten L von der bekannten erften Teillinie o zu benutzen, um durch $b = a$ die zu beftimmende zweite Teillinie I feftzulegen. Hiermit ift die Breite $a + b = 2a$ der Steinfäule gefunden, welche das Gewicht P Kilogr. des Laternenftückes erfetzen foll. Ferner ift durch die Lage von L auch die mittlere Dicke δ des zugehörigen Kranzfteines und fomit gleichzeitig diefelbe mittlere Dicke δ für die Steinfäule beftimmt.

Fig. 320.



Die Grundfläche diefer Steinfäule kann mit hinlänglicher Genauigkeit als ein wagrecht liegendes Rechteck von der Länge $2a$ Met. und der Breite δ Met. angenommen werden. Das Gewicht von 1 cbm Wölbmaterial fei γ Kilogr. Die zu berechnende mittlere Höhe x Met. der Steinfäule, welche das Gewicht P Kilogr. befitzen foll, ergiebt fich aus dem Ausdruck

$$2a\,\delta\,x\,\gamma = P$$

mit

$$x = \frac{P}{2a\,\delta\,\gamma} \text{ Met.} \quad . \quad 154.$$

Hiermit ift die Beftimmung der Belaftung der Kuppel durch die Laterne getroffen. Die auf bekanntem Wege aufzufindenden Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke der einzelnen Kranzfteine geben weiteren Auffchlufs über die einzuführende Gewölbftärke.

Bei bedeutendem Gewichte der Laterne können die Seitenpreffungen für den oberen Kranzftein, alfo für den Lichtring, eine Gewölbftärke erfordern, welche unter Umftänden bei der Ausführung nicht geftattet werden foll. Alsdann ift die Durchbildung der Laterne mit geringerem Gewichte notwendig.

Wird ein Kuppelgewölbe in irgend einer Ringfchicht durch ein Einzelgewicht belaftet, fo ift fein Einflufs auf die Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke der Kranzfteine in dem befonderen Meridianftreifen, deffen Symmetrieebene die lotrechte Schwerlinie der Einzelbelaftung enthält, unter entfprechender Berückfichtigung von Gleichung 152 (S. 325) und unter Anwendung der fonft erforderlichen graphifchen Ausführungen zu beurteilen.

254. Winddruck.

Frei gelegene, kräftig emporfteigende Kuppelgewölbe haben bei ftarken Stürmen Beanfpruchungen zu erleiden, welche eine Formänderung der Kuppel und eine Aenderung der vor der Einwirkung des Windes vorhandenen Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke bewirken können.

Die genaue Beftimmung folcher Form- und Kräfteänderungen durch Winddruck ift bislang noch nicht gelungen. Man wird daher bei der ftatifchen Unterfuchung

von Kuppelgewölben, welche neben ihrem Eigengewicht und ihrer fonftigen ruhenden Belaftung noch vom Winddrucke beanfprucht find, einen Näherungsweg betreten müffen.

Die einzelnen Meridianftreifen der halben Kuppel, welche von der Windrichtung getroffen werden, erhalten durch den Winddruck ungleich grofse Belaftungen. Der Meridianftreifen, deffen lotrechte Symmetrieebene zugleich Ebene des Windftromes ift, erfährt die gröfste Beanfpruchung. Ermittelt man unter Berückfichtigung der in Art. 218 (S. 346) gegebenen Anleitung die auf den Rückenflächen der einzelnen Kranzfteine diefes Meridianftreifens eintretenden normal ftehenden, im Schwerpunkte der gedrückten Flächen angreifenden Winddrücke; fetzt man diefelben einzeln mit den Gewichten und der fonft etwa vorhandenen Belaftung der zugehörigen Kranzfteine zufammen, um hierdurch für jeden Kranzftein die Refultierende der ihn angreifenden äufseren Kräfte zu erhalten: fo laffen fich unter nunmehriger Benutzung diefer einzelnen Refultierenden ganz im Sinne der in Art. 246 (S. 376) gegebenen Darlegungen die fämtlichen Seitenpreffungen und Lagerfugendrücke des im allgemeinen am ungünftigften beanfpruchten Meridianftreifens ermitteln und hiernach die Gewölbftärken des durch Winddruck mitbelafteten Kuppelgewölbes bemeffen.

Werden mehrere Kuppelgewölbe als Stutzkuppeln nebeneinander angeordnet und durch Gurtbogen getrennt, fo kommen für die Beanfpruchung diefer Gurtbogen und ihrer gemeinfchaftlichen Pfeiler Verhältniffe in Betracht, wie folche fchon in Art. 139 (S. 241) beim Kreuzgewölbe berückfichtigt find. Tritt infolge von ungleich weit gefpannten und ungleich belafteten Gurtbogen, die als Widerlager einzelner, nebeneinander gereihter Hänge- oder Stutzkuppeln von verfchiedener Spannweite dienen und gruppenweife von einem gemeinfchaftlichen Gurtpfeiler getragen werden, ein ungünftiger Verlauf der Mittellinie des Druckes im Pfeiler ein, fo ift auch hier, wie beim Kreuzgewölbe, durch entfprechende Ausmauerung der Gewölbzwickel oberhalb des Pfeilers eine Sicherung der Stabilität des Stützkörpers einzuführen. Die ftatifche Unterfuchung der Gurtbogen und ihrer Pfeiler erfolgt nach den mitgeteilten Grundlagen. 255. Kuppelgewölbe zwifchen Gurtbogen.

Form und Belaftung der Kuppelgewölbe bedingen unter Beachtung der Feftigkeit und der fonftigen Eigenfchaften des Wölbmaterials die Gewölbftärke. Den hierbei obwaltenden verfchiedenen Verhältniffen können empirifche Regeln für die Stärke der Kuppelgewölbe nicht fofort gerecht werden. 256. Empirifche Regeln für die Gewölbftarke.

Die Ergebniffe diefer Regeln follen im allgemeinen nur als Ausgangswerte dienen, welche der ftatifchen Unterfuchung und der damit zufammenhängenden Beftimmung der Stärke der Kuppelgewölbe vorläufig zu Grunde zu legen find.

Für kleinere, mäfsig belaftete Kuppelgewölbe aus gutem Backfteinmaterial über quadratifchem Grundrifs können folgende Gewölbftärken als Ausgangswerte Berückfichtigung finden:

Spannweite bis:	4	6	8	10	Met.
Gewölbftärke im Scheitel:	$^1/_2$	1	1	1	Backftein
» am Kämpfer:	$^1/_2$	1	$1^1/_2$	2	» .

Aehnliche Abmeffungen können auch für die Stärke kleinerer Kuppelgewölbe aus Backftein über Kreisgrundriffen gewählt werden.

Für die Ermittelung der Widerlagsftärke der Kuppelgewölbe find die nach empirifchen Regeln anzunehmenden Werte gleichfalls nur als vorläufige Abmeffungen anzufehen, welche für die Stabilitätsunterfuchung der im Querfchnitte oft nach 257. Empirifche Regeln für die Widerlagsftärke.

befonderen baulichen Verhältniffen angeordneten Widerlagskörper den erften Anhalt gewähren.

Bei verfchiedenen Grofskonftruktionen der Kuppelgewölbe älterer und neuerer Zeit fchwankt die Stärke der Widerlager zwifchen $^1/_6$ bis etwa $^1/_{11}$ ihrer Spannweite.

Rondelet ftellte die Regel auf, dafs dem Kuppelgewölbe die Hälfte der Widerlagsftärke des Tonnengewölbes von gleicher Spannweite als Widerlager zugewiefen werden foll.

Allgemein genommen, kann man die Widerlagsftärke der Kuppelgewölbe näherungsweife zu $^1/_6$ bis $^1/_8$ des Kuppeldurchmeffers wählen.

Wird in befonderen Fällen der in Art. 250 (S. 381) erwähnte Fufsring zur teilweifen oder gänzlichen Vernichtung des in der Widerlagsfläche des Kuppelgewölbes wirkenden wagrechten Gewölbfchubes angebracht, fo kann die Stärke des Widerlagskörpers in geeigneter Weife herabgefetzt werden. Beruhigenden Auffchlufs über die alsdann einzuführende Widerlagsftärke hat die anzuftellende ftatifche Unterfuchung zu geben.

c) Ausführung der Kuppelgewölbe.

258. Allgemeines. Die Ausführung der Kuppelgewölbe mit übereinander gelagerten konzentrifchen Ring- oder Kranzfchichten, deren Lagerflächen durch normal zur Laibungsfläche der Kuppel gerichtete gerade Linien erzeugt werden, deren Stofsflächen lotrechten Meridianebenen des Gewölbes angehören, ift im allgemeinen fehr einfach und in vielen Fällen bei nicht zu grofsen Spannweiten der Kuppeln und bei geeignetem Wölbmaterial ohne Schwierigkeiten felbft in freihändiger Mauerung zu befchaffen. Der Bildung der Lager- und Stofsfugen entfprechend, erhält jeder Wölbftein im wefentlichen eine doppelt keilförmige Geftalt.

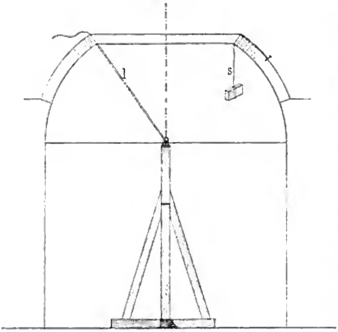
Ueber die Ausführungsweife der Kuppelgewölbe der früheften Zeit und der Zeit der Römer über kreisrunden und vieleckigen Räumen find in Teil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehende Mitteilungen gemacht, worauf hier verwiefen werden mufs. Die dort näher gegebene Befchreibung der aus Quadern ohne oder mit Mörtel, aus Backfteinen, aus Backfteinen mit Gufsgemäuer, aus Gufsgemäuer mit Backfteinverblendung, aus Töpfen mit Gufsmauerwerk oder aus eigenartig geformten Töpfen allein hergeftellten Kuppelgewölbe bietet eine Fülle von Angaben über die verfchiedenften Arten ihrer Ausführung dar.

259. Rüftungen. Die hauptfächlichften Baumaterialien für Kuppelgewölbe der Jetztzeit find gewöhnliche Backfteine, Hohl- oder Lochfteine, poröfe Backfteine, Quader, lagerhafte, plattenförmige Bruchfteine, guter Kalkmörtel, verlängerter Zementmörtel oder Zementmörtel allein.

Befondere Einrüftungen durch Lehrbogen mit Schalung werden wohl für gröfsere aus Quadern oder Bruchfteinen zu wölbende Kuppeln in Anwendung gebracht. Bei Backfteinkuppeln, welche in übereinander gelagerten Kranzfchichten gemauert werden, ift eine derartige Einrüftung meiftens nicht erforderlich.

Gehört die Laibung der Kuppel einer Kugelfläche an, fo benutzt man beim Wölben die fog. Leier *l* (Fig. 321) von der Länge des Halbmeffers des Kugelgewölbes. Die Leier, eine Leifte oder Latte aus Tannenholz mit etwa 5 cm Durchmeffer, ift am unteren Ende mit einem Haken in eine Oefe gehängt, welche auf dem Kopfe eines feftftehenden Pfoftens oder des Ständers eines Bockgerüftes genau im Mittelpunkte des Gewölbes angebracht ift.

Fig. 321.



Durch Drehen der Leier um diefe Oefe wird die Lage der einzelnen Kranzfchichten und die Richtung der Stofsflächen der Wölbfteine in einfachfter Weife angegeben. Beim Wölben felbft mufs, da vor dem vollftändigen Schluffe des einzelnen Kranzringes, fobald die Neigung der unteren Lagerfläche zu grofs wird, leicht das Abgleiten der Wölbfteine eintritt, das Beftreben des Gleitens durch Verwendung eines guten, möglichft fchnell bindenden Mörtels verhindert werden. In der Nähe des Gewölbfcheitels ift das Beftreben des Abgleitens am ftärkften.

Das beffere Haften des einzelnen Wölbfteines einer zu vermauernden Kranzfchicht auf feiner Lagerfläche wird zweckmäfsig durch eine befondere Belaftung des immer zuletzt verfetzten Steines unterftützt. An einem Nagel, der in einer tief gelegenen Fuge am Rücken des Gewölbes eingefchlagen ift, wird eine Schnur *s* befeftigt. Das untere Ende diefer Schnur wird mit einem Gewichte, gewöhnlich mit einem Backftein, verbunden. Die über den Wölbftein gelegte Schnur verhindert mittels des Gewichtes des frei im Inneren des Gewölbes herabhängenden Backfteines das Gleiten auf der Lagerfläche.

Sind beim Einwölben mehrere Arbeiter thätig, fo wird von jedem derfelben ftatt der Leierlatte eine an der Oefe des Ständers befeftigte Schnur, auf welcher die Länge des Kugelhalbmeffers genau bezeichnet ift, als Richtfchnur für die Lager- und Stofsfugen des Gewölbes benutzt.

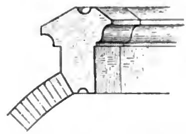
Bei gröfseren Kugelgewölben, namentlich aber bei Kuppelgewölben, für deren Erzeugende der Mittelpunkt aufserhalb der lotrechten Scheitelachfe der Gewölbfläche gewählt ift, werden Leier, bezw. Schnüre nicht gebraucht. An ihre Stelle tritt ein um die Scheitelachfe drehbarer, möglichft einfach hergerichteter Lehrbogen oder unter Umftänden die Einrüftung durch eine Schar von radial und lotrecht geftellten Lehrbogen mit Schalung.

260. Kuppelgewölbe aus Backfteinen.

Bei der Verwendung der gewöhnlichen Backfteine, der Hohl- oder Lochfteine oder der poröfen Backfteine zur Wölbung der Kuppeln ift unter der Vorausfetzung, dafs nur gutes Material benutzt wird, die der Gewölbfläche entfprechende richtige Stellung der Lager- und Stofsflächen beim Wölben der Kranzfchichten ftreng zu beachten. Die durch Waffer angenäfsten Steine werden mit gut und hinlänglich fchnell bindendem Mörtel (verlängerter Zementmörtel, bezw. reiner Zementmörtel) verfetzt. Da jeder Stein, genau genommen, doppelt keilförmig fein foll, fo mufs ein entfprechendes Zuhauen der Steine vorgenommen werden. Bei kleineren Gewölben ift diefes Zuhauen kaum zu vermeiden. Bei gröfseren Gewölben befchränkt fich das Zuhauen in der Regel nur auf die Stofsflächen der Ringfchichten, da bei den Lagerflächen die keilförmige Ausgleichung oft fchon durch die Mörtelfüllung erzielt werden kann. Im ganzen foll aber bei forgfältiger Ausführung dem fach-

gemäſsen Zurichten der Wölbſteine Rechnung getragen werden. In den meiſten Fällen wendet man zur Erzielung richtiger Lager- und Stoſsfugenflächen am beſten nur Binderſchichten an, weil ſonſt, namentlich bei den Kränzen mit geringerem Durchmeſſer, die langen Seiten der Backſteine ſich der Laibungsfläche des Gewölbes nicht gut anpaſſen können.

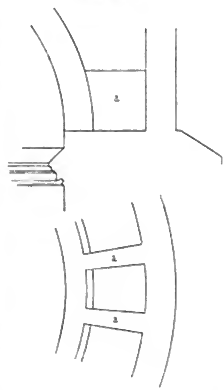
Fig. 322.



In der Nähe des Scheitels des geſchloſſenen Kuppelgewölbes wird das keilförmige Zuſchärfen der in Binderſchichten zu vermauernden gewöhnlichen Backſteine etwas miſslich. Zweckmäſsig verwendet man deshalb für die oberen Kranzſchichten beſonders gebrannte Keilſteine, ſowie einen gröſseren, entſprechend geformten und gebrannten, oder auch aus einem Quader bearbeiteten Schluſsſtein.

Oben offene Kuppelgewölbe erhalten als Abſchluſs einen Lichtring. Hierfür werden die Wölbſteine, wie Fig. 322 zeigt, am beſten aus gutem Quadermaterial angefertigt.

Fig. 323.



261. Sporen.

Zur Vermeidung einer erheblichen Belaſtung des unteren Teiles eines gröſseren Kuppelgewölbes und ſeines Widerlagers durch volle Hintermauerung zwiſchen dem Rücken des Gewölbes und der Innenſeite des etwa noch reichlich hoch über der Kämpferebene der Kuppel aufzumauernden Widerlagskörpers bringt man oft ſog. Sporen an. Die zwiſchen dieſen Sporen *a* (Fig. 323) entſtehenden Hohlräume oder Zellen vermindern das Gewicht der eigentlichen Hintermauerung in erwünſchtem Maſse.

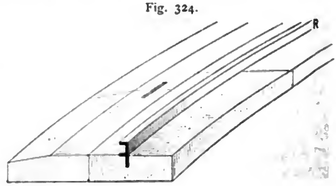
In gleicher Weiſe können ſolche Sporen am Fuſse der Mauerung der Doppelkuppeln zwiſchen der äuſseren und inneren Kuppelſchale angebracht werden.

262. Verſtärkungsgurte.

Läſst man unter Beachtung gleich groſser Teilweiten des Kuppelfuſses rippenartig nach dem Scheitel oder dem Lichtkranze der Kuppel anſteigende Wölbſtreifen mit gröſserer Stärke als die dazwiſchenliegenden Gewölbſtücke beſitzen, ausführen, ſo entſtehen die ſog. Verſtärkungsgurte der Kuppel. In der Regel treten dieſe etwa durchweg $1\frac{1}{2}$ bis 2 Stein breiten Verſtärkungsgurte um $\frac{1}{2}$ Steinſtärke an der Rückenfläche des Gewölbes vor.

Als lehrreiches Beiſpiel eines Kuppelgewölbes mit Verſtärkungsgurten und mit zweckmäſsiger Einführung eines Fuſsringes zur Vernichtung des für den Widerlagskörper nachteiligen wagrechten Gewölbſchubes iſt die über der kreisrunden Vorhalle des ſtädtiſchen Bades zu Karlsruhe von *Durm*[32]) ausgeführte

Fig. 324.



[32]) Siehe: Zeitſchr. f. Bauw. 1874, S. 123.

Kuppel mit Lichtring zu betrachten. In Fig. 324 ift für diefe Kuppel die Anordnung des in einem Kranz von Sandfteinquadern eingelaffenen, mit Blei vergoffenen fchmiedeeifernen Fufsringes *R* veranfchaulicht.

Bei elliptifchen Kuppelgewölben find die Lagerfugenkanten der einzelnen Kranzfchichten Ellipfen, welche durch Schnitte wagrechter Ebenen mit der Gewölblaibung erhalten werden. Die Lagerfugenflächen der Wölbkränze bilden windfchiefe Flächen, erzeugt durch gerade Linien, welche in jedem Punkte der zugehörigen Lagerfugenkante normal zur Oberfläche des Ellipfoids der Kuppel ftehen und infolge hiervon verfchiedene Neigung zur wagrechten Ebene annehmen. 263. Elliptifche Kuppeln.

Beim Mauern der Wölbkränze kann übrigens das Windfchiefe der Lagerflächen durch entfprechende Stärke der Mörtelfüllung ohne erhebliche Nachteile für die Wölbung ausgeglichen werden.

Die Stofsfugenflächen liegen in Meridianebenen, welche durch die lotrechte Scheitelachfe der elliptifchen Kuppel geführt werden.

Um während der Ausführung elliptifcher Kuppelgewölbe die richtige Bildung der Laibungsfläche und die genaue Stellung der Lager-, bezw. Stofsfugenflächen aufrecht zu erhalten, find, von der lotrechten Hauptachfe der Kuppel ftrahlenförmig auslaufend, mehrere Lehrbogen aufzuftellen, deren äufsere Begrenzungslinien nach den ihnen zukommenden Meridianfchnitten zu beftimmen find.

Die Mauerung kaffettierter Kuppelgewölbe in einzelnen Kranzfchichten, wobei die Kranzteile der Kaffetten nur in geringerer Stärke als die Kaffettenftege auszuführen find, erfolgt wie bei den nicht kaffettierten Kuppelgewölben. 264. Kaffettierte Kuppelgewölbe.

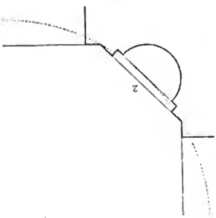
Ift unter befonderen Verhältniffen bei diefen Gewölben eine vollftändige Einrüftung mit Schalung notwendig, fo find für die Kaffetten Holzkaften als Hilfsrüftung auf der Schalung zu befeftigen. Diefe Holzkaften find im allgemeinen in der in Art. 44 (S. 94) befchriebenen Weife anzufertigen.

Die Ausführung der Hänge- oder Stutzkuppeln weicht von der Herrichtung der vorhin befprochenen Kuppelgewölbe nicht ab. 265. Hänge- oder Stutzkuppeln; Pendentifs.

Befondere Beachtung verdienen jedoch die bei diefen über quadratifchen, recht- oder vieleckigen Räumen eintretenden Stutzkuppeln in Frage kommenden Eckzwickel oder Pendentifs, deren Geftaltung in Art. 235 bis 237 (S. 365 bis 367) näher gekennzeichnet ist.

In aller Strenge ift der Fufs des Eckzwickels eine gerade Linie, wenn nicht, wie z. B. bei der Kuppel der Peterskirche in Rom, veranlafst durch eine befondere Grundrifsbildung der Widerlagskörper des Gewölbes, die Eckzwickel *z* nach Fig. 325 eine ausgebreitete Grundfläche erhalten.

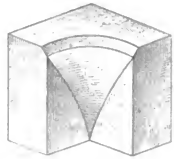
Fig. 325.



Zur Vermeidung des in einer Schneide auslaufenden Anfatzes der Eckzwickel wird auch bei Hängekuppeln aus Backfteinmauerwerk als Anfänger diefer Zwickel am beften ein gröfserer, regelrecht bearbeiteter Quader (Fig. 326) verfetzt, welcher dem unteren Backfteinringe ein geeignetes Auflager bietet. Aufserdem kann aber auch in nicht unzweckmäfsiger Weife die Aufmaurung der Gewölbzwickel

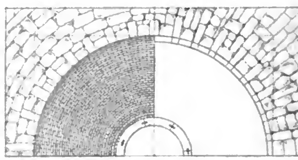
in wagrechten Schichten mit allmählicher, der Laibungsfläche des Gewölbes entsprechender Vorkragung, wie Fig. 327 angiebt, vorgenommen werden. Die Stofsfugenflächen dieser Zwickelmauerung werden nach lotrechten Meridianebenen der Kuppel geordnet. In dieser Weise wurden von *Moller* die Pendentifs der Kuppelgewölbe über den Treppenhäusern im Theater zu Mainz ausgeführt.

Fig. 326.



Vorkragungen *C* in wagrechten Schichten mit darüber gelegten, nach und nach vorgeschobenen Mauerbogen *A*, *B* zeigt die Pendentifanordnung in Fig. 328. Hierbei entsteht zwischen der Aufmauerung *C* und dem unteren Mauerbogen *A* eine besonders zu schliefsende gröfsere Fuge *h*. Zwischen dem höchsten Mauerbogen *1 2 3 4* und dem hier aus Quadern angenommenen Fufskranze der nach Art. 236 (S. 366) gestalteten Oberkuppeln bleiben bei *2* im Grundrisse nur noch kleine Zwickelstücke, welche durch wagrechte Schichten mit Vorkragung oder durch Ringschichten geschlossen werden können.

Fig. 327.



Im allgemeinen zeigt diese Herstellung der Pendentifs, welche in ähnlicher Weise z. B. bei den Kuppeln der Markuskirche in Venedig vorkommt, einige Nachteile. Der Schub der Mauerbogen *A*, *B* u. f. f. bewirkt für die Gurtbogen der Stirnseiten der Unterkuppel eine ungünstige Beanspruchung, welche leicht eine Verdrückung und Verdrehung der Gurtbogen im Gefolge haben kann.

266. Kuppel mit Tambour.

Wird zwischen den Pendentifs und der Oberkuppel der sog. Tambour, welcher als cylindrischer, röhrenförmiger Mauerkörper nur einen erhöhten Fufs für die Oberkuppel bildet, eingefügt, so setzt sich dieser Tambour unmittelbar auf die von den Pendentifs getragene erste Kranzschicht.

267. Einrüstung.

Die Einrüstung für das Wölben der Hängekuppeln kann, falls nicht sehr grofse Spannweiten in Betracht kommen, auf die in der Richtung der Diagonalen des zu überwölbenden Raumes aufzustellenden Lehrbogen beschränkt werden, nachdem zuvor am Mauerwerk der Stirnseiten die Stirnlinien der Kuppelfläche mit Kreide oder Kohle genau aufgezeichnet sind. Diese Stirnlinien geben in Gemeinschaft mit den Rückenlinien der Diagonallehrbogen für geübte Maurer hinreichenden Anhalt für die regelrechte Ausführung des Gewölbes.

268. Kuppelgewölbe aus Bruchsteinen.

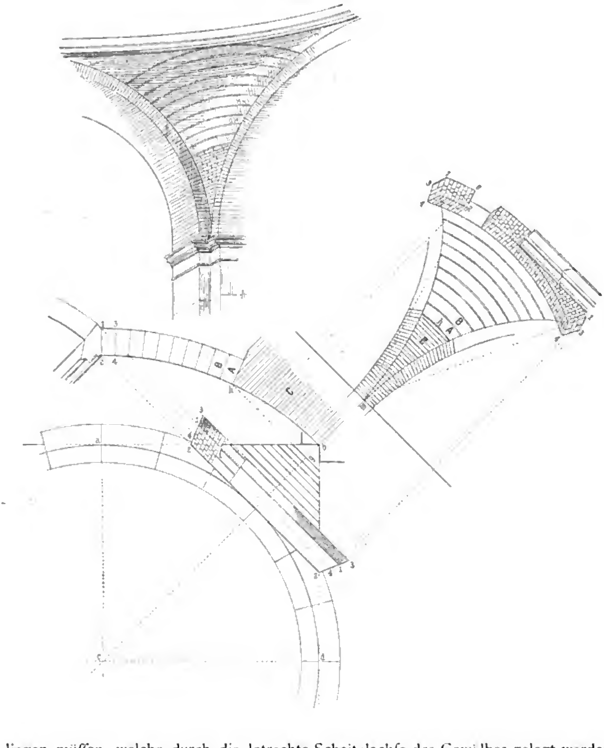
Gute und lagerhafte Bruchsteine, wenn ihre einfache Bearbeitung ohne grofse Mühe zu erreichen ist, namentlich aber die leichteren Arten vulkanischer Tuffe, können zur Herstellung der Kuppelgewölbe gebraucht werden.

Die Ausführung der Wölbung folgt den für Backsteinwölbung gegebenen Grundlagen. In den meisten Fällen wird bei Bruchsteinwölbung eine Einrüstung durch Lehrbogen mit Schalung erforderlich.

Kuppelgewölbe aus Quadern werden gleichfalls in übereinander gelagerten Kranzfchichten hergeftellt. Die ftets zu beachtende Beftimmung, wonach die Erzeugenden der Lagerflächen der Wölbfteine normal zur Laibungsfläche der Kuppel ftehende gerade Linien fein follen, während die Stofsfugenflächen in Meridianebenen

269.
Kuppelgewölbe aus Quadern.

Fig. 328.

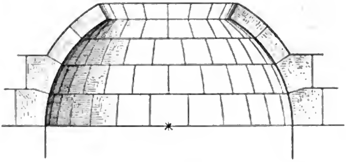


liegen müffen, welche durch die lotrechte Scheitelachfe des Gewölbes gelegt werden, bedingt den Fugenfchnitt der Wölbquader.

Die Stofsfugen find bei den übereinanderliegenden Kränzen nach Fig. 329 in gegenfeitigen, auf Kuf geordneten Verband zu bringen. Die Ausmittelung der

Brettungen der Kranzsteine ist nach den einfachsten Lehren der darstellenden Geometrie vorzunehmen. Aufserdem ist die Bearbeitung der Wölbsteine nicht schwierig.

Fig. 329.



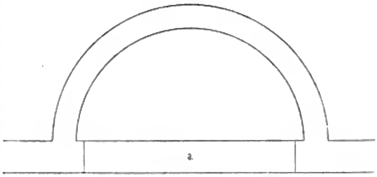
Die Ausführung der Wölbung, welche meistens unter Benutzung einer vollständigen Einrüstung mit Lehrbogen und Schalung erfolgt, ist im allgemeinen den vorhin gegebenen Regeln der Backsteinwölbung entsprechend.

Im besonderen gelten für das Versetzen der Quader, für den zu verwendenden Mörtel u. s. f. die in Art. 51 (S. 106) beim Tonnengewölbe angeführten Vorschriften.

d) Nischen- oder Chorgewölbe.

270. Allgemeines. Die Laibungsfläche des Nischen- oder Chorgewölbes gehört im allgemeinen einer Hälfte der durch eine lotrechte Meridianebene in zwei Teile zerlegten Kuppelfläche an. Die Anordnung und Ausführung der Nischengewölbe mufs sich also im wesentlichen nach den für das Kuppelgewölbe geltenden Regeln richten.

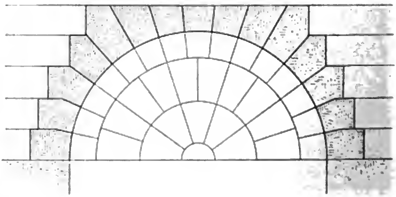
Fig. 330.



Abgesehen von den in Art. 101 (S. 188) bereits näher besprochenen, als Ecküberführungen behandelten Eck- oder Nischengewölben, welche übrigens in dem dort Angeführten auch die Grundlagen für die Ausmittelung der Wölbsteine aus Quadermaterial über halbkreisförmigem oder sonst krummlinig begrenztem Grundrisse der Nische bieten, werden gröfsere Nischen- oder Chorgewölbe nach dem Grundrifs in Fig. 330 meistens in ihrer Stirnfläche gegen selbständig in entsprechender Stärke ausgeführte Mauerbogen oder Gurtbogen *a* gesetzt. Diese Abschlufs- oder Stirnbogen dienen dabei der Stirnschnittfläche des Chorgewölbes unmittelbar als Widerlager.

271. Ausführung. Die Ausführung dieser Gewölbe, gleichgültig ob Backstein-, Bruchstein- oder Quadermaterial benutzt wird, folgt genau den beim Wölben der Kuppeln gekennzeichneten Wegen.

Fig. 331.



Soll in besonderen Fällen bei gröfseren, aus Quadern herzustellenden Chorgewölben ein nach Fig. 331 gebildeter Fugenschnitt gewählt werden, welcher ohne Anwendung eines selbständigen Abschlufsbogens die

Wölbung ohne Einführung von Kranzſchichten mit wagrechten Lagerkanten geſtattet, ſo entſpricht dieſe Anordnung hinſichtlich der Ausmittelung des Fugenſchnittes im allgemeinen dem in Art. 101 (S. 188) Vorgetragenen.

Sollen Chorgewölbe kaſſettenartig gegliedert werden, ſo iſt das in Art. 264 (S. 389) Geſagte gleichfalls zu befolgen.

Ebenſo entſprechen ihre Stabilitätsunterſuchung und die Beſtimmung ihrer Gewölbſtärke den hierüber beim eigentlichen Kuppelgewölbe gemachten Angaben.

---

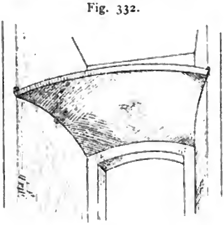
19. Kapitel.

Böhmiſche Kappengewölbe.

a) Geſtaltung der böhmiſchen Kappengewölbe.

Die Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes entſpricht derjenigen einer flachen Stutz- oder Hängekuppel. Im Gegenſatz zum preuſsiſchen Kappengewölbe, deſſen Wölbfläche einem Cylindermantel angehört, beſitzt das böhmiſche Kappengewölbe eine ſphäriſche oder ſphäroidiſche Laibungsfläche. 272. Form.

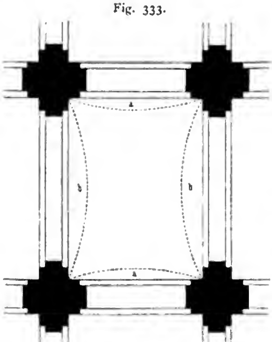
Fig. 332.



Das böhmiſche Kappengewölbe, auch böhmiſche Kappe, in Oeſterreich Platzelgewölbe genannt, kann über regel- oder unregelmäſsig geſtalteten Grundriſſen in Anwendung kommen. Regelmäſsige Grundriſſe haben aber die einfachere und ſchönere Entwickelung der Form dieſer Gewölbe im Gefolge.

Das böhmiſche Kappengewölbe iſt zur Herrichtung einer maſſiven Decke mit geringer Pfeilhöhe und mäſsiger Stärke vorzüglich geeignet. In der Regel wird jedoch, um die Gewölbſtärke nicht über $\frac{1}{2}$ Backſteinlänge zu ſteigern, die gröſste Gewölbweite ſelten über 5 m genommen. Die Pfeilhöhe wird zu $\frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{12}$, meiſtens zu $\frac{1}{10}$ der Länge der gröſsten Diagonale der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes gewählt.

Fig. 333.



Die Stirnbogen, alſo die an allen Umfangsmauern des Raumes auftretenden Kämpferlinien des böhmiſchen Kappengewölbes (Fig. 332) ſind Flachbogen.

Hierdurch wird die Anlage von gröſseren Thür- oder Lichtöffnungen in den Widerlagsmauern erleichtert oder auch nach Fig. 333 bei mehrfach aneinander gereihten Gewölben die Auflöſung der Widerlagsmauern in Eckpfeiler mit dazwiſchen geſpannten Gurtbogen, deren Wölblinien den Stirnbogen *a*, *b* zweckmäſsig angepaſst werden, in einfacher Weiſe möglich.

Für die Darſtellung der Laibungsfläche des böhmiſchen Kappengewölbes iſt, abge- 273. Darſtellung.

ſehen davon, ob ein Teil einer reinen Kugelfläche oder einer kugelförmigen Fläche als Wölbfläche eingeführt werden ſoll, die gegenſeitige Höhenlage der tiefſten Punkte der Kämpferlinien, alſo der Kämpfer- oder Fuſspunkte des Gewölbes vorzuſchreiben. Hierfur gelten folgende Annahmen: die ſamtlichen Kämpferpunkte liegen in einer einzigen wagrechten Ebene, der eigentlichen Kämpferebene, oder die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen. Sollen ſamtliche Kämpferpunkte in einer ſchiefen Ebene liegen, ſo entſteht das ſteigende böhmiſche Kappengewölbe. Dieſen Annahmen folgend, ſoll die Geſtaltung der Laibungsflächen des böhmiſchen Kappengewölbes näher beſprochen werden.

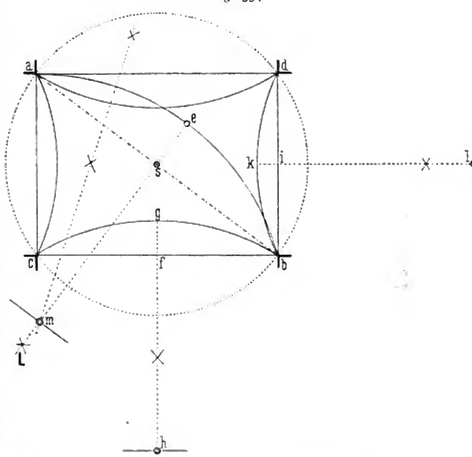
α) Sämtliche Kämpferpunkte liegen in einer wagrechten Ebene.

274. Kugelfläche. Die Laibungsfläche ſoll einem Teile einer Kugelfläche angehören.

Läſst ſich durch die ſämtlichen Ecken der Grundriſsfigur des zu überwölbenden Raumes ein Kreis legen, welcher als Parallelkreis der ihrem Halbmeſſer nach noch näher zu beſtimmenden Kugelfläche zu gelten hat, ſo gehört dieſer Parallelkreis der wagrechten Kämpferebene des Gewölbes an, und ſämtliche Fuſspunkte der Kämpferlinien ſind Punkte dieſes Parallelkreiſes.

Iſt der Grundriſs des Gewölbes ein Dreieck, ein Quadrat, ein Rechteck oder ein regelmäſsiges Vieleck, ſo iſt durch die Ecken der Grundriſsfigur ſtets ein Kreis zu beſchreiben.

Fig. 334.



275. Rechteckiger Grundriſs. In Fig. 334 iſt das Rechteck *abcd* der Grundriſs des Gewölbefeldes und *s* der Mittelpunkt des durch die Ecken *a*, *b*, *c* und *d* gehenden Parallelkreiſes. Die beliebig durch *s* geführte, hier mit der Diagonalen *ab* ſich deckende Gerade *ab* iſt der Durchmeſſer dieſes Parallelkreiſes irgend einer Kugelfläche.

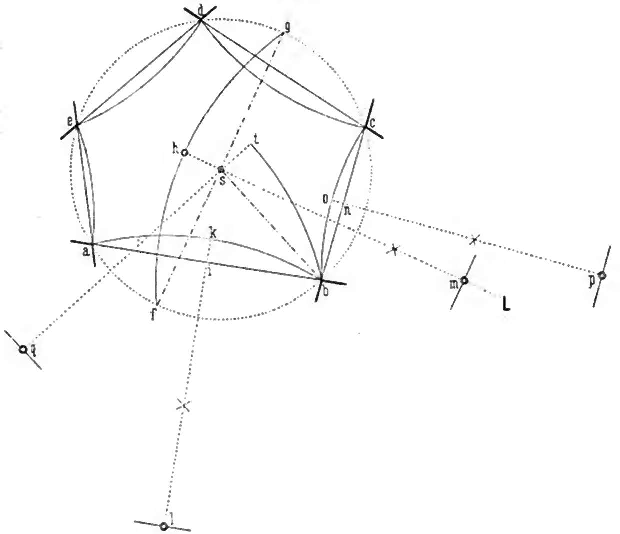
Der Mittelpunkt dieſer Kugelfläche liegt auf einer in *s* lotrecht auf der Ebene des Parallelkreiſes ſtehenden Geraden *L*. Trägt man die frei gewählte Pfeilhöhe *se* des Gewölbes auf dieſer Lotrechten *L* ab, ſo hat man durch die 3 Punkte *a*, *e*, *b* einen Kreis zu legen, deſſen Mittelpunkt *m* auf *L* in bekannter Weiſe zu ermitteln iſt. Der Punkt *m* iſt der Mittelpunkt der Kugelfläche, welcher die Laibungsfläche des Gewölbes angehört. Der Kreisbogen *aeb*, der ſog. Diagonalbogen des böhmiſchen Kappengewölbes, iſt ein Teil des gröſsten Kreiſes der ermittelten Kugelfläche. Die lotrechten Ebenen *cb* und *bd*

der Widerlager des Gewölbes schneiden die Kugelfläche nach Kreisen, deren Teile *cgb*, bezw. *bkd* die Stirnlinien des Gewölbes an den langen Seiten *cb*, *ad*, bezw. an den kurzen Seiten *bd*, *ca* des rechteckigen Raumes werden. Errichtet man im Halbierungspunkte *f* der Seite *cb* das Lot *fh*, so ist, da der Mittelpunkt *m* der Laibungsfläche des Gewölbes von der wagrechten Kämpferebene den Abstand *sm* erhalten hat, die Länge $fh = sm$ auf dem Lote *fh* abzutragen, um in *h* den Mittelpunkt für den Stirnbogen *cgb* zu bestimmen. Die Pfeilhöhe dieses Bogens ist *fg*.

Für die Ausmittelung des Stirnbogens *bkd* ist der gleiche Weg zu verfolgen. Hierbei ist $il = fh = sm$ zu nehmen, so dass *l* der Mittelpunkt, *ik* die Pfeilhöhe dieses Stirnbogens wird.

Ist die Grundrissprojektion des Gewölbes ein regelmässiges Vieleck, so ist die Bestimmung der Kreisbogen für die Stirnlinien und Diagonalbogen, wie im vorhergehenden Artikel für das Rechteck gezeigt wurde, vorzunehmen. Diese Bestimmungen 276. Vieleckiger Grundriss.

Fig. 335.



sind auch beim unregelmässigen Vieleck zu treffen, sobald, die gleiche Höhenlage der Kämpferpunkte vorausgesetzt, die Grundrissprojektion des Gewölbes die Führung eines durch sämtliche Ecken gehenden Kreises gestattet, wie in Fig. 335 angenommen ist.

Dieser durch die Ecken des unregelmässigen Fünfeckes *abcde* gelegte Kreis mit dem Mittelpunkte *s* ist der Parallelkreis der für die Laibung des Gewölbes festzulegenden Kugelfläche.

Die beliebig durch *s* geführte Gerade *fg* ist als eine in der wagrechten Kämpferebene liegende Sehne eines grössten Kreises der Kugelfläche anzunehmen. Auf dem in *s* auf *fg* errichteten Lote *L*

wird sh als gewählte Pfeilhöhe abgetragen und hiernach der Mittelpunkt m auf L für den durch die 3 Punkte f, h und g gehende Kreis beftimmt. Alsdann ift mh der Halbmeffer der für die weitere Geftaltung des Gewölbes mafsgebenden Kugelfläche.

Für den Stirnbogen der Seite ab ift das im Halbierungspunkte i auf ab errichtete Lot il gleich dem Abftande sm zu nehmen. Der um l mit dem Halbmeffer la befchriebene Kreisbogen akb ift fofort der gefuchte Stirnbogen mit der Pfeilhöhe ik. Der Stirnbogen boc mit der Pfeilhöhe no hat den Mittelpunkt p. Die Länge des in n auf bc errichteten Lotes np ift wiederum gleich $sm = il$.

In gleicher Weife find die Stirnbogen fämtlicher Seiten des Gewölbes auszutragen. Für irgend einen, z. B. von s nach der Ecke b ziehenden Wölbbogen ift auf dem in s auf bs errichteten Lote die Strecke $sq = sm$ zu nehmen, um diefen Wölbbogen in dem mit dem Halbmeffer qb um q befchriebenen Kreisbogen bt, deffen Pfeilhöhe st offenbar gleich sh werden mufs, zu erhalten.

277. Kugelförmige Fläche.

Läfst fich durch die Ecken der vieleckigen Grundrifsprojektion des böhmifchen Kappengewölbes kein Kreis legen, follen aber dennoch die fämtlichen Fufspunkte der Stirnlinien des Gewölbes in feiner wagrechten Kämpferebene bleiben, fo ift die Gewölblaibung wefentlich nur als kugelförmige Fläche zu geftalten.

In Fig. 336 find die Grundzüge für das Austragen der Stirnbogen, bezw. der vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes ziehenden Wölbbogen bei dem als unregelmäfsiges Viereck $abcd$ angenommenen Grundrifs enthalten.

Zunächft wird die wagrechte Projektion s des Scheitelpunktes des Gewölbes beftimmt. In der Regel wählt man hierfür den Schwerpunkt der Grundrifsfläche. Nimmt derfelbe jedoch eine Lage an, welche für die von ihm nach den Ecken a, b, c, d gezogenen Strahlen voneinander fehr ftark abweichende Längen ergeben würde, fo verlegt man den Punkt s zur Ausgleichung diefer Längenunterfchiede in entfprechender Weife.

Sodann legt man die Stirnlinien des Gewölbes auf folgendem Wege feft. Sämtliche Stirnlinien find flache Kreisbogen. Ihre Pfeilhöhen ftehen im geraden Verhältniffe zu ihren Sehnenlängen. Man wählt für irgend eine Seite, z. B. ad, einen flachen Kreisbogen mit der Pfeilhöhe $1e$. In einem Hilfsplane wird unter Benutzung der Schenkel eines beliebigen, hier rechten Winkels $4o4'$ ein Stück $o1$ gleich der halben Länge $a1$ der Seite ad auf dem einen Schenkel $o4$, die Strecke $o1'$ gleich der Pfeilhöhe $1e$ der Stirnlinie der Seite ad dagegen auf dem anderen Schenkel $o4$ abgetragen und die gerade Linie $11'$ gezogen. Zur Beftimmung der Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab wird diefelbe im Punkte 2 halbiert, die Länge $a2$ von $o2$ auf dem Schenkel $o4$ abgetragen und durch den Endpunkt 2 diefer Strecke eine Parallele $22'$ zu $11'$ geführt. Der Abfchnitt $o2'$ des Schenkels $o4'$ giebt die gefuchte Pfeilhöhe $2f$ der Stirnlinie der Seite ab. Diefe Stirnlinie ift der durch die 3 Punkte a, f und b gelegte Kreisbogen.

Die Stirnlinien der übrigen Seiten bc und cd find nach demfelben Verfahren zu zeichnen.

Von weiterer befonderer Bedeutung für die Geftaltung der Laibungsfläche des Gewölbes ift die paffende Wahl der durch den höchften Punkt irgend einer Stirnlinie und den Gewölbfcheitel gehenden Wölblinie. Zweckmäfsig wird hierfür ein Kreisbogen gewählt; feine Pfeilhöhe ift gröfser zu nehmen, als die bereits beftimmte Pfeilhöhe des weiteften Stirnbogens anzeigt.

Je nachdem nun von vornherein eine beftimmte Pfeilhöhe für das Gewölbe vorgefchrieben ift oder nicht, können folgende Beftimmungen für die durch den Gewölbfcheitel gehende Wölblinie getroffen werden.

Bleibt der Gewölbepfeil noch willkürlich, fo legt man der Richtung der längften Seite der Grundrisfigur, z. B. cd, entfprechend, eine Gerade A durch s und durch den Halbierungspunkt 1 oder 3 der mit diefer längften Seite zufammentreffenden Seiten da oder cb. In der Zeichnung ift der Punkt 1 angenommen. Die Gerade A foll in der wagrechten Kämpferebene liegen und als Spur einer lotrechten Ebene angefehen werden, welche in ihrem Schnitte mit der Gewölbfläche die vorhin erwähnte Wölblinie als Kreisbogen liefern foll.

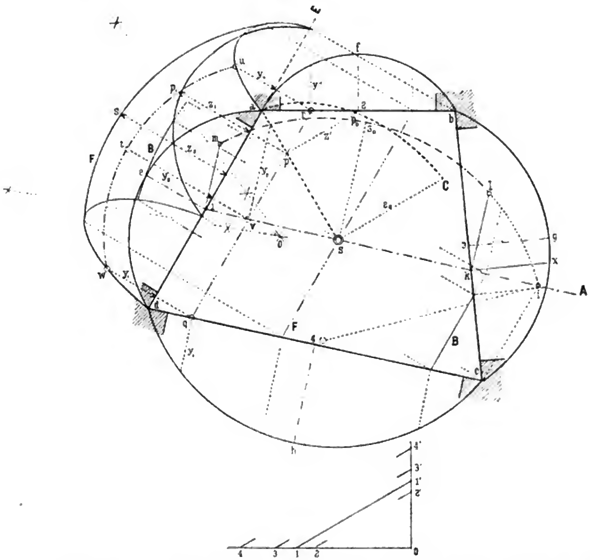
Die Ebene fchneidet den Stirnbogen der Seite ad in e und den Stirnbogen der Seite bc in x. Errichtet man in 1 und 3 Lote auf A, nimmt man $1m = 1e$ und $kl = kx$, fo find m und l zwei fefte Punkte der gefuchten, bis zur Kämpferebene niedergedrehten Wölblinie. Projiziert man parallel zur

Seite ad den Endpunkt c der längften Seite cd nach i auf A, fo ift hierdurch ein dritter Punkt diefer Wölblinie beftimmt. Der durch die 3 Punkte m, l und i gelegte Kreisbogen ftellt fie feft; $s s_0$ ift ihre Pfeilhöhe.

Wird dagegen die Pfeilhöhe diefer Wölblinie vorweg angenommen, fo hat man in s auf A das Scheitellot zu errichten und auf diefem die gegebene Pfeilhöhe abzutragen. Der durch die beiden feften Punkte m, l und durch den höchften Punkt des Scheitellotes gelegte Kreisbogen, welcher natürlich hierbei vom Punkte i unabhängig ift, wird alsdann die gefuchte Wölblinie in der in A ftehenden lotrechten Ebene.

Mit Hilfe der Stirnlinien und der Wölblinie $m l i$, bezw. $m s_0 l$ kann die weitere Ausmittelung der Gewölblaibung vorgenommen werden.

Fig. 336.



Legt man durch den beliebigen Punkt v der Geraden A parallel zur Seite ad, welche als Ausgangsfeite für die zeichnerifchen Darftellungen gewählt wurde, eine lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur qr, fo erzeugt diefelbe auf der Laibungsfläche den Schnitt wtu, welcher als der durch die 3 Punkte w, t und u geführte Kreisbogen mit dem Mittelpunkte o beftimmt werden kann. Die Punkte w, t und u find ihrer Lage nach bekannt. Für w ift $dw = y_1$ des Stirnbogens dhc; für t ift $zt = y_0$ der Wölblinie $m s_0 l$, und für u ift $y_{,,}$ des Stirnbogens afb mafsgebend. Auf demfelben Wege find auch die Kreisbogen F und B für die parallel zur Seite ad aufgeftellten lotrechten Ebenen mit den im Grundrifs gezeichneten wagrechten Spuren F, bezw. B leicht zu ermitteln.

Ebenfo einfach ift ferner das Austragen irgend einer vom Gewölbfcheitel nach einer Gewölbecke ziehenden Wölblinie. Die Bogenlinie C ift für die Richtung sa eingetragen. Für diefelbe ift die Länge

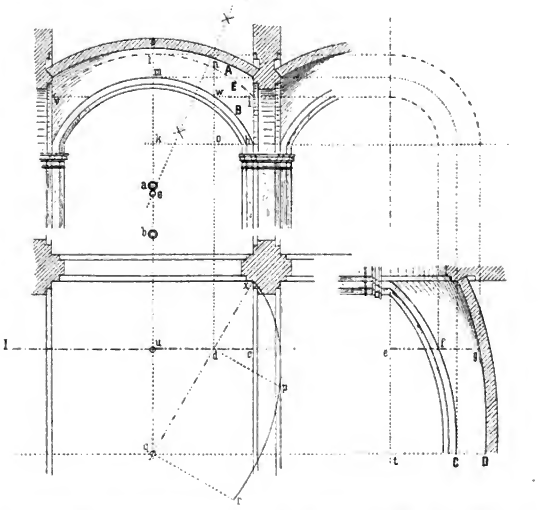
des in s auf as errichteten Lotes $sC = ss_0$, die Länge der in p auf as fenkrecht ftehenden Linie pp_0 gleich der Ordinate z, der Schnittlinie wtu u. f. f. Für die Bogenlinien nach sb, sc u. f. f. gelten diefelben Mafsnahmen. Mittels lotrechter, parallel zu ad aufgeftellter Ebenen werden die zugehörigen Schnittlinien der Laibungsfläche feftgelegt und hiernach einzelne Punkte diefer gefuchten Bogenlinie ermittelt.

278. Gleich hohe Stirnbogen: Anordnung I.

Wird bei rechteckigem Grundrifs des böhmifchen Kappengewölbes die Forderung geftellt, alle Stirnbogen mit gleicher Pfeilhöhe einzuführen, fo kann die kugelförmige Geftaltung der Laibungsfläche nach Anleitung von Fig. 337 bewirkt werden.

Der Stirnbogen der fchmalen Rechteckfeite fei der um a befchriebene flache Kreisbogen B mit der Pfeilhöhe km. Der Stirnbogen C der langen Seite erhält diefelbe Pfeilhöhe $tC = km$. Diefer Stirnbogen C ift ein Stück einer Ellipfe, wofür einzelne Punkte, z. B. f, auf bekanntem, auch aus der Zeich-

Fig. 337.



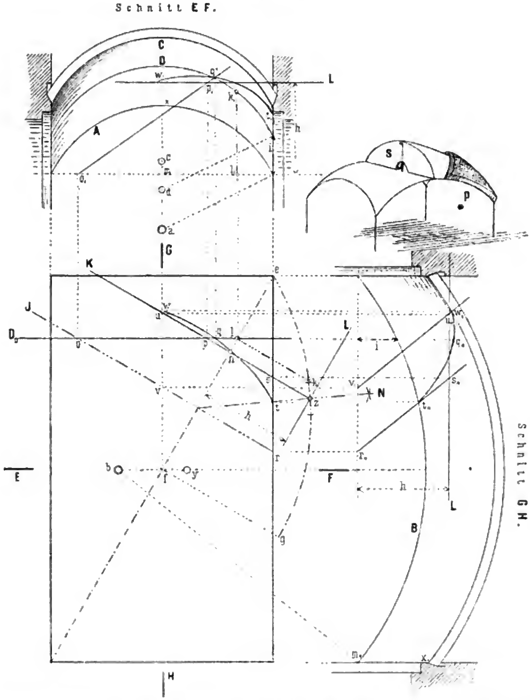
nung zu erfehenden Wege gefunden werden können. Die Wölblinie der durch den Scheitel s, deffen wagrechte Projektion in der Kämpferebene der Punkt q ift, parallel zur fchmalen Rechteckfeite geführten lotrechten Ebene fei der um b befchriebene Kreisbogen A, während die Wölblinie D in der durch den Gewölbefcheitel parallel zur langen Rechteckfeite geführten lotrechten Ebene als flacher Kreisbogen, wobei jedoch $tD = ks$ und die Höhenlage des Anfchlufspunktes an der fchmalen Stirnfeite gleich der Höhe tC über der Kämpferebene fein mufs, gewählt werden möge. Nach diefen gegebenen Beftimmungsftücken läfst fich die kugelförmige Laibung des Gewölbes in folgender Weife ermitteln.

Man führt an beliebiger Stelle parallel zur Ebene des Stirnbogens B eine Ebene I durch die Gewölbfläche. Diefelbe fchneidet die Stirnbogen C der langen Rechtecksfeiten in f. Die Ordinate diefes Punktes ift ef.

Wird durch f eine wagrechte Ebene gelegt, fo erhält man in der Aufrifsprojektion unterhalb A die Punkte i und v. Die Ebene I fchneidet die Scheitellinie D in g. Trägt man eg von k nach l, fo

kann man durch die 3 Punkte *i*, *l*, *v* einen Kreisbogen *E* mit dem Mittelpunkte *e* legen, welcher als Erzeugende der kugelförmigen Laibung des Gewölbes für die Ebene *l* auftritt. Genau fo find für verfchiedene, parallel zur fchmalen Rechtecksfeite aufgeftellte Ebenen die zugehörigen Wölblinien oder Erzeugenden der Wölbfläche zu beftimmen. Für das Auftragen des Diagonalbogens *rx* über *qx* ift fofort $gr = ks$ und $dp = on$, wie aus der Zeichnung zu erfehen, zu verwenden.

Fig. 338.



279.
Anordnung
II.

Eine zweite Art der Geftaltung kugelförmiger Gewölblaibung für böhmifche Kappengewölbe, deren Stirnbogen gleich grofse Pfeilhöhen erhalten follen, kann bei rechteckigem Grundrifs in vorteilhafter Weife nach Fig. 338 zur Anwendung kommen.

Die Stirnbogen der Rechteckfeiten find als flache Kreisbogen *A*, bezw. *B* mit gleicher Pfeilhöhe *mx* gewählt. Läfst man den Stirnbogen *A*, ftets in einer lot-

rechten Ebene parallel mit der fchmalen Rechtecksfeite bleibend, auf den Stirnbogen *B* der langen Seiten ftetig fortrücken, wie der Plan *P* mit der Scheibe *S*, deren obere Begrenzung dem Stirnbogen *A* entfprechen würde, näher angiebt, fo entfteht eine befondere Gewölblaibung, deren Eigenfchaften für die Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes nicht ungünftig find.

Ebenfo hätte man auch umgekehrt den Stirnbogen der langen Rechteckfeite zur Erzeugung der Laibungsfläche benutzen können.

Zur weiteren Ausmittelung der Beftimmungsftücke diefer Gewölblaibung ift das Nötige fofort aus der Zeichnung zu entnehmen.

Der Schnitt in der Richtung *EF* giebt als Scheitellinie den Kreisbogen *C* gleich dem Kreisbogen *A*. Der Abftand *ac* diefer beiden Bogen ift gleich der Pfeilhöhe *mx* der Stirnbogen überhaupt. Im Schnitte nach *GH* ift die Scheitellinie ein Kreisbogen, deffen Halbmeffer $y x_{\prime\prime}$ gleich dem Halbmeffer $b m_{\prime\prime}$ des Stirnbogens *B* ift. Der Abftand *by* der beiden Mittelpunkte ift gleich $m x = m_{\prime\prime} x_{\prime\prime}$.

Ein Schnitt in der Richtung *Do* liefert den Kreisbogen *D* mit dem Halbmeffer $d i = a x$. Der Abftand *ad* der Mittelpunkte der beiden Kreisbogen *A* und *D* ift durch die Ordinate *i* des Stirnbogens *B* im Schnitte *GH* zu beftimmen.

Der Diagonalbogen *ge* über *fe* wird durch Ordinaten, wie $f g = m C$, $l k = l_{\prime} k_{\prime}$ u. f. f., unter Verwertung des Schnittes *EF* leicht feftgelegt.

Führt man durch einen beliebigen Punkt *z* des Diagonalbogens *ge* eine Normalebene mit den Spuren *N* und *Jr*, fo erhält man auf dem aus der Zeichnung zu erkennenden Wege, welcher auch bereits z. B. in Art. 186 (S. 303) bei Fig. 263 angegeben ift, die wagrechte Projektion *t, n, q, w* und die lotrechten Projektionen $t_{\prime}, q_{\prime}, w_{\prime}$, bezw. $t_{\prime\prime}, q_{\prime\prime}, w_{\prime\prime}$ der Schnittlinie, welche diefe Normalebene auf der Gewölblaibung hervorruft.

Bei der Befprechung der Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes (unter c) werden diefe Schnittlinien noch weitere Berückfichtigung finden.

280. Ellipfoidifche Fläche.

Statt der reinen Kugelfläche oder der kugelförmigen Fläche kann die Laibung des böhmifchen Kappengewölbes auch eine ellipfoidifche Fläche fein.

Wird die in einer wagrechten Ebene angenommene Ellipfe *G* (Fig. 339) mit der halben grofsen Achfe *mo* und der halben kleinen Achfe *ml*, wie dies meiftens der Fall, um ihre fefte grofse Achfe gedreht, fo entfteht eine ellipfoidifche Umdrehungsfläche. Jeder Punkt *l*, *I* u. f. f. der erzeugenden Ellipfe bewegt fich während der Drehung auf einem Kreife. Berückfichtigt man nur die oberhalb der wagrechten Meridianebene *nE* liegende Hälfte diefer Umdrehungsfläche, fo kann diefelbe für die Geftaltung des böhmifchen Kappengewölbes mit ellipfoidifcher Laibung ohne Schwierigkeit benutzt werden.

Legt man parallel zu den Halbachfen *mo* und *ml* die Seiten eines Rechteckes *abcd* als Grundrifsfigur des Gewölbes in der Weife ein, dafs die Ecken *a, b, c, d* nicht in die Ellipfe fallen, fondern von *m* gleichen Abftand $m a = m b = m c = m d$ erhalten, fo werden die in den Rechteckfeiten aufgeftellten lotrechten Stirnebenen des Gewölbes die ellipfoidifche Umdrehungsfläche nach beftimmten Stirnlinien fchneiden, und der oberhalb diefer Stirnlinien verbleibende Teil der Umdrehungsfläche ift die zu verwendende Gewölbfläche.

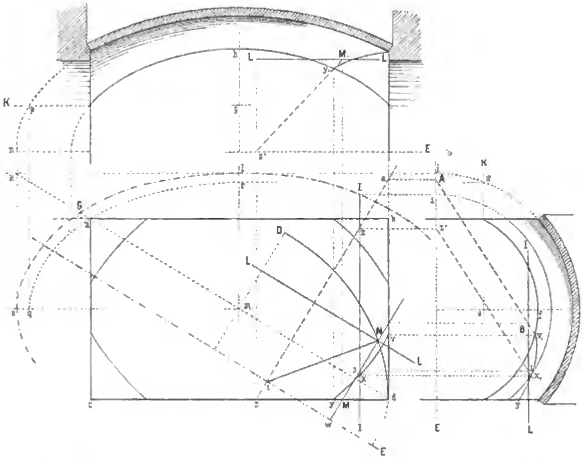
Ift *abcd* das gegebene Rechteck, fo fei für die fchmale Rechteckfeite *bd*, bezw. *ac* ein flacher Kreisbogen mit der Pfeilhöhe *ef* in Rückficht auf die Kämpferebene gewählt. Die Scheitellinie in der lotrechten Ebene *ml* ift als ein zum Stirnbogen konzentrifcher Kreisbogen zu nehmen. Gehörig erweitert, trifft diefe Scheitellinie die Kämpferebene *K* in *s* und die wagrechte Meridian- oder jetzt die Grundebene in *i*. Erweitert man in der Grundebene die Diagonale *da* des gegebenen Rechteckes, zieht man durch *i* die Gerade *ik* parallel zu *ab* und hierauf *ko* parallel zu *ac*,

ſo erhält man in $m\,l$ die halbe kleine Achſe und in $m\,o$ die halbe groſse Achſe der erzeugenden Ellipſe G, welche hiernach in der Meridianebene der Umdrehungsfläche gezeichnet werden kann. Nunmehr ſind alle Stücke gegeben, um die ellipſoidiſche Laibung des Gewölbes zu bilden.

Der Stirnbogen der Seite $a\,b$ iſt ein leicht darzuſtellendes Ellipſenſtück mit der Pfeilhöhe $g\,h = e\,f$. Die Scheitellinie in der Richtung $m\,o$ entſpricht der erzeugenden Ellipſe. Aus der Zeichnung iſt hierfür das Nähere ſofort erſichtlich.

Auch der Diagonalbogen D gehört einem Ellipſenſtücke an. Die halbe groſse Achſe für die erforderliche Ellipſe des Diagonalbogens iſt gleich $m\,G$, und die halbe kleine Achſe iſt wiederum gleich $m\,l$.

Fig. 339.



Der für den Diagonalbogen D gezeichnete Normalſchnitt der Normalebene mit den Spuren Nt und ta liefert auf der Gewölbfläche die Kurve, deren wagrechte Projektion $v\,x\,y$ und deren lotrechte Projektion $v, x, y,$ in bekannter Weiſe mit Hilfe der lotrechten Schnitte nach $b\,d$, $I\,I$ und $a\,b$, ſowie der wagrechten Geraden L, wie aus der Zeichnung hervorgeht, zu finden iſt.

Bemerkt ſei noch, daſs in der Kämpferebene durch die Ecken a, b, c, d eine Ellipſe gelegt werden kann, deren halbe groſse Achſe in $m\,q$, deren halbe kleine Achſe in $m\,r$ erhalten wird.

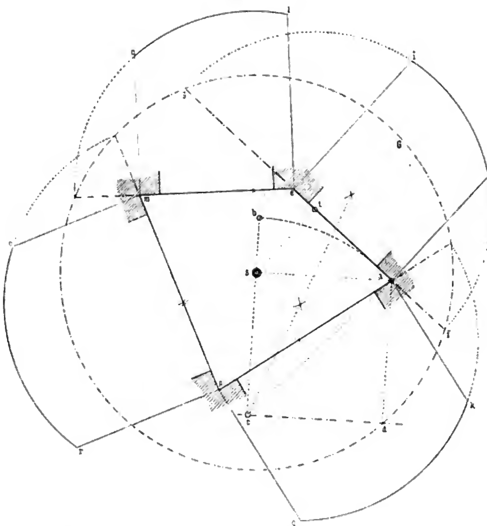
β) Die Kämpferpunkte liegen in verſchiedenen wagrechten Ebenen.

Böhmiſche Kappengewölbe mit ungleich hoch gelegenen Fuſspunkten der Stirnlinien zeigen meiſtens kein ſchönes Ausſehen. Iſt man genötigt, über unregelmäſsigen Grundriſſen mehr untergeordneter Räume das böhmiſche Kappengewölbe als Raumdecke zu verwenden, ſo iſt es angezeigt, einen Teil der reinen Kugelfläche als Laibungsfläche des Gewölbes zu benutzen und von der ellipſoidiſchen Fläche ganz abzuſtehen. 281. Kugelfläche

In dieſem Falle iſt die Ausmittelung der Stirnlinien und der vom Scheitelpunkte nach den Fuſspunkten dieſer Stirnlinien gerichteten Wölblinien in einfacher Weiſe nach Fig. 340 vorzunehmen.

Das unregelmäſsige Viereck *a e m p* ſei der Grundriſs des Gewölbes. Der Schwerpunkt *s* der Grundriſsfläche möge die wagrechte Projektion des Gewölbſcheitels ſein. Die Wölblinie *a b*, welche vom Fuſspunkte *a* bis zum Gewölbſcheitel zieht, iſt als Kreisbogen bei der angenommenen Pfeilhöhe *s b* um *c* als Mittelpunkt, der auf der gehörig verlängerten Geraden *s b* liegt, mit dem Halbmeſſer *c a* beſchrieben. Dieſer

Fig. 340.



Halbmeſſer wird, ſobald ſeine Gröſse nicht kleiner als die Länge irgend eines anderen Eckſtrahles *s m* oder *s p* u. ſ. f. iſt, ſofort auch als Halbmeſſer der Kugelfläche, welcher die Laibung des Gewölbes entnommen werden ſoll, beibehalten. Der um *s* mit dem Halbmeſſer *c a* beſchriebene Kreis *G* iſt der in der wagrechten Grundebene *c d* liegende gröſste Kreis der Kugel.

Würde derſelbe zum Teile in die Grundriſsfigur fallen, ſo müſste die Pfeilhöhe *s b* der Wölblinie *a b* entſprechend verkleinert werden.

Der Mittelpunkt der Kugel liegt in einem lotrechten Abſtande *s c* unter der durch *a* geführten wagrechten Ebene.

Um den Stirnbogen der Seite *ae* auszutragen, erweitert man *ae*, bis der gröfste Kreis *G* in *f* und *g* gefchnitten wird. Der um *t* befchriebene Halbkreis *ghif* ergiebt in *hi* die gefuchte Stirnlinie. Der Punkt *t* ift bekanntlich auch der Fufspunkt des von *s* auf *ae* gefällten Lotes.

Auf demfelben Wege find die fämtlichen Stirnlinien zu ermitteln. Die Seiten *ae*, *em* u. f. f. können für die einzelnen Stirnlinien ohne weiteres als in der Grundebene *G* liegend betrachtet werden, fo dafs $ah = ad = ak$, $ei = el$, $mn = mo$, $pr = pq$ gefunden und hiernach die gegenfeitige Höhenlage der Fufspunkte der an den Ecken des Gewölbes zufammentretenden Stirnlinien beftimmt wird. Die Wölblinien über *se* und *sm* find gleichfalls mit Hilfe des gröfsten Kreifes *G* auf dem befchriebenen Wege zu erhalten.

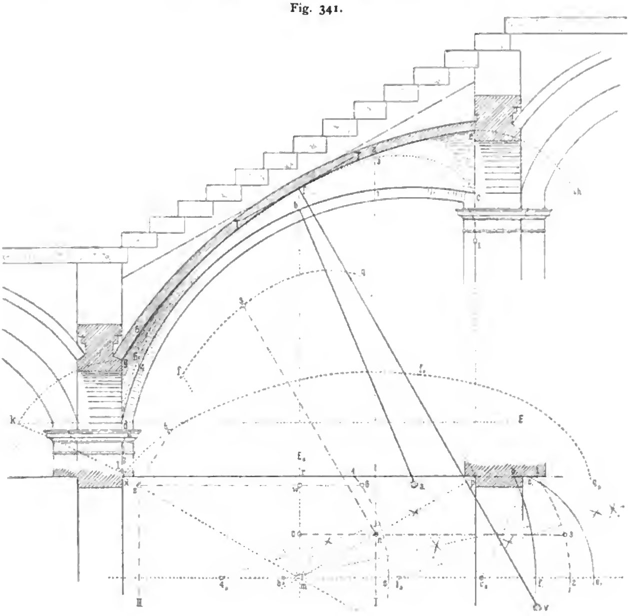
γ) Die Kämpferpunkte liegen in einer fchiefen Ebene.

282. Steigende böhmifche Kappen: Anordnung 1.

Bei anfteigenden böhmifchen Kappengewölben, welche meiftens nur über rechteckigem oder quadratifchem Gewölbfelde ausgeführt werden, liegen die Fufspunkte der beiden anfteigenden Stirnbogen in einer fchiefen Ebene, während die Fufspunkte der anderen beiden Stirnbogen je für fich in einer wagrechten Ebene enthalten find. Die Laibungsflächen diefer Gewölbe werden kugelförmig geftaltet.

Entfprechend der für die Hauptfcheitellinie *ge* feftgelegten Tangente *TT*, deren Richtung einer vorweg beftimmten Steigungslinie, z. B. derjenigen eines

Fig. 341.



Treppenlaufes in Fig. 341, zugewiefen ift, wird auf dem in f auf TT errichteten Lote fv der Punkt v aufgefucht, welcher als Mittelpunkt für den durch den feften Punkt g und den Berührungspunkt f gehenden Kreisbogen gfe gilt. Der Punkt f ift vorweg als lotrechte Projektion des Schnittes m der Diagonalen des rechteckigen Gewölbfeldes auf TT zu beftimmen. Der Punkt g ift feiner Lage nach durch den gewählten Stirnbogen gk mit dem Halbmeffer lk und der Pfeilhöhe dg bekannt.

Der Scheitelbogen gfe trifft die Stirnfeite ie in e. Diefer Punkt ift Scheitelpunkt des Stirnbogens an der oberen fchmalen Rechteckfeite. Diefer Stirnbogen befitzt, wie der Bogen gk, die Pfeilhöhe $ec = dg$ und den Halbmeffer $ih = lk$. Durch die Punkte d und c find die Fufspunkte der anfteigenden Stirnlinie des Gewölbes nunmehr gegeben. Wählt man auf der Lotrechten mf die an fich fonft beliebige Höhe bf derart, dafs b mäfsig tiefer als c fällt, fo ift durch die 3 Punkte c, b, d der als anfteigende Stirnlinie auftretende Kreisbogen zu legen. In der Zeichnung ift a fein Mittelpunkt.

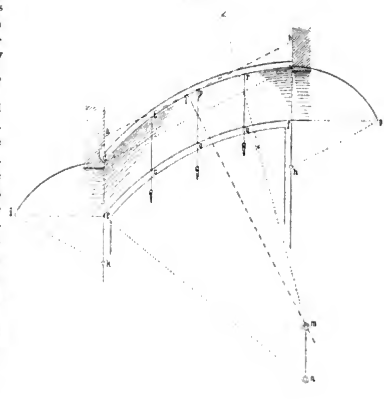
Hierdurch find alle für die Geftaltung des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes mit kugelförmiger Laibung erforderlichen Grundlagen gefchaffen. Von Wichtigkeit ift das Austragen der Wölblinien oder Diagonalbogen über xm und pm.

Legt man parallel zu den fchmalen Stirnfeiten durch den Schnitt m der Diagonalen eine Ebene, deren wagrechte Spur E_0 ift, fo fchneidet diefelbe den Stirnbogen cd in b und den Scheitelbogen ge in f. Nimmt man im Grundriffe rb, gleich der lotrechten Entfernung des Punktes b von der im Aufrifs gezeichneten wagrechten Linie E und ebenfo mf, gleich der lotrechten Entfernung des Punktes f von der Linie E, fo kann man unmittelbar im Grundrifs auf der die Breite des Gewölbfeldes halbierenden Geraden mf, den Mittelpunkt b_0 des durch b, und f, gehenden Kreisbogens beftimmen. Diefer Kreisbogen ift in die wagrechte Ebene niedergelegt und giebt die Hälfte der Wölblinie, welche für die in E_0 aufgeftellte lotrechte Ebene in Frage kommt. Für die lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur I ergeben fich im Aufrifs auf den beiden Bogen cd und eg die Punkte 1, bezw. 2. Im Grundrifs find die Abftände diefer Punkte von der Linie E als $r1$, bezw. $m2$ abgetragen, und weiter ift mittels des auf der Geraden mf, gefundenen Mittelpunktes l_0 wiederum die für die in I aufgeftellte Ebene geltende Wölblinie als Kreisbogenftück 12 gezeichnet. In gleicher Weife find die Wölblinien für beliebig viele fchneidende Ebenen II u. f. f., welche parallel zur Ebene E_0 genommen werden, zu beftimmen.

Für den Diagonalbogen xm wird nun z. B. $sb = w6$ und $mf_0 = mf_,$. Ferner wird für den Diagonalbogen pm $fm_{,,} = mf_,$, $n3 = o3$ und $pq = rc_,$.

Der ganze in der Richtung xm ziehende Diagonalbogen ift hiernach als Wölblinie xbf_0q_0 zu beftimmen. In der Aufrifsprojektion ift die Kurve $d6f3c$ die Darftellung der Diagonalbogen über xm und mp. Je zahlreicher man die vorhin erwähnten lotrechten Schnitte nimmt, um fo genauer ift das Austragen der Diagonalbogen zu bewirken.

Fig. 342.



Wäre der anfteigende Stirnbogen dbc von vornherein gegeben, fo ift die Scheitel-

linie *g e* in paffender Weife zu wählen. Hierdurch tritt aber im Feftlegen der Wölbfläche an fich keine wefentliche Aenderung der befchriebenen Mafsnahmen ein.

Eine andere Geftaltung der Laibungsfläche des anfteigenden böhmifchen Kappengewölbes ift in Fig. 342 veranfchaulicht. Diefelbe entfpricht vollftändig den in Art. 279 (S. 399) gegebenen Anordnungen. Der Stirnbogen der fchmalen Rechteckfeite wird, wie dort erklärt, einfach ftets fich parallel bleibend und lotrecht ftehend an den beiden auffteigenden Stirnbogen der langen Rechteckfeiten fortgeführt. Derart geftaltete Laibungsflächen find für die Ausführung der anfteigenden böhmifchen Kappengewölbe zu empfehlen, weil diefelben unter Benutzung von Rutfchbogen, welche bereits in Art. 41 (S. 90) Erwähnung gefunden haben, gewölbt werden können. 283. Anordnung II.

b) Stärke der böhmifchen Kappengewölbe und ihrer Widerlager.

Das böhmifche Kappengewölbe gehört der Gruppe der Kuppelgewölbe an. Die Gefichtspunkte, welche bei der Ermittelung der Stärke diefer Gewölbe nebft ihren Widerlagern zu beobachten find, bleiben auch beim böhmifchen Kappengewölbe beftehen, gleichgültig ob die Laibungsfläche als reine Kugelfläche oder als kugelförmige Fläche ausgebildet ift. 284. Stabilität der Kappen.

Die Stärke der böhmifchen Kappen ift bei den üblichen in Wohnräumen vorkommenden Belaftungen und ihren an fich mäfsigen Spannweiten felten gröfser als $^1/_2$ Backfteinlänge. Bei befonders grofsen Spannweiten, bezw. bei erheblich ftarken Belaftungen ift die Vornahme der ftatifchen Unterfuchung der Kappen und die darauf geftützte Berechnung der Gewölbftärke zu empfehlen.

Diefe Unterfuchung und Beftimmung der Gewölbftärke ift ganz nach den Angaben auszuführen, welche in Art. 203 bis 206 (S. 329 bis 336) für die bufigen Gewölbkappen gotifcher Kreuzgewölbe enthalten find.

Mögen Gurtbogenftellungen oder gefchloffene Umfangsmauern als Widerlagskörper des böhmifchen Kappengewölbes in Anwendung gebracht werden, fo richtet fich die Stabilitätsunterfuchung diefer Stützkörper wiederum zunächft nach den in Art. 209 (S. 338) gegebenen Erörterungen. Die hierdurch bekannt gewordenen äufseren angreifenden Kräfte, welche vom Gewölbe auf die Widerlager übertragen werden, find fodann im Sinne des in Art. 137 bis 139 (S. 238 bis 241) bei der Prüfung der Standfähigkeit der Stützkörper Vorgeführten in Betracht zu ziehen. 285. Stabilität der Widerlager.

In den meiften Fällen der praktifchen Ausführung des böhmifchen Kappengewölbes können die durch Erfahrung feftgeftellten Abmeffungen der Gewölbftärke und der Stärke der Widerlager beibehalten werden. 286. Empirifche Regeln: Stärke der Kappen.

Wird die Pfeilhöhe des böhmifchen Kappengewölbes nahezu gleich $^1/_{10}$ der Diagonale der Grundrifsfigur genommen, fo ift die Gewölbftärke bis 5 m Spannweite gewöhnlich gleich $^1/_2$ Backftein. Bei gröfserer Spannweite, welche aber 7 m felten überfchreitet, wird die Pfeilhöhe zweckmäfsig zu $^1/_7$ bis $^1/_8$ der Diagonale feftgefetzt und die Gewölbftärke am Scheitel zu $^1/_2$ Backftein, am Widerlager bis zu 1 Backftein angenommen. Dabei ift eine Ausmauerung der Gewölbzwickel anzuraten.

Die Stärke der Widerlager beträgt bei der üblichen Höhe derfelben etwa $^1/_4$ bis $^1/_3$ der gröfsten Spannweite des Gewölbes, nie aber unter $2^1/_2$ Stein. Treten mehrere, durch Gurtbogen voneinander gefchiedene, vollftändig gleichartig geftaltete böhmifche Kappengewölbe in Reihen nebeneinander auf, fo genügen meiftens $1^1/_2$ Stein breite und $1^1/_2$ bis 2 Stein ftarke Gurtbogen. 287. Widerlagsftärke.

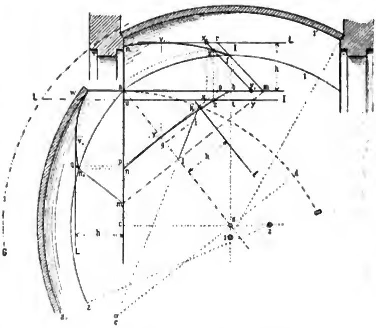
c) Ausführung der böhmifchen Kappengewölbe.

288. Material. Als Wölbmaterial für das böhmifche Kappengewölbe werden faft ausfchliefslich Backfteine und gut bindender Mörtel benutzt.

289. Einrüftung. Das Einwölben erfolgt freihändig. Beim Wölben dienen als Lehre nur aus leichten Brettern angefertigte Wölbfcheiben, welche vom Scheitel nach den Ecken des Gewölbes aufgeftellt, als fog. Diagonalbogen die allgemeine Geftaltung der Gewölbfläche anzeigen. An den Widerlagskörpern werden die Stirnlinien oft nur mit Kohle oder Kreide genau vorgezeichnet und die Widerlagsflächen hier mäfsig eingearbeitet, fo dafs diefes Syftem der Stirnlinien in Gemeinfchaft mit den Diagonalbogen, bezw. Wölbfcheiben hinreichende Mittel zur richtigen Ausführung der Wölbung gewährt. Nur in befonderen Fällen werden auch aufser den Diagonalbogen noch leichte Wölbfcheiben, vom Scheitel aus rechtwinkelig nach den Widerlagern gerichtet, aufgeftellt.

Das Einwölben erfolgt aus allen Gewölbecken gleichzeitig nach Art des Schwalbenfchwanzverbandes in einzelnen von den Stirnlinien des Gewölbes freihändig über die Diagonalbogen hinweggeführten Schichten mit Backfteindicke und ½ Stein, bezw. 1 Stein Höhe. Gut bindender Mörtel bedingt die möglichft innige Verkittung der forgfältig beim Vermauern angenäfsten Steine. Zuletzt bleibt eine nahezu quadratifche Oeffnung für das Einfetzen des Schlufssteines.

Fig. 343.

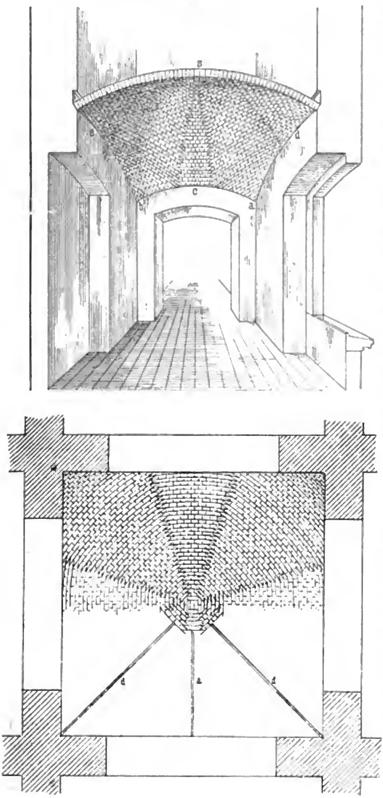


Genau genommen follen die Lagerkanten der einzelnen Wölbfchichten ftets in Normalebenen zu den Diagonalbogen liegen. In Fig. 343 ift für das böhmifche Kappengewölbe über rechteckigem Grundrifs mit den Stirnlinien Ia, $2a$ und dem Diagonalbogen D für die Normalebene mit den Spuren xl und mm nach der in Art. 186 (S. 303) gegebenen Anleitung und auf dem aus der Zeichnung deutlich zu entnehmenden Wege die Darftellung der wagrechten Projektion $nvzb$ und der lotrechten Projektionen $fz, v_{,} n_{,}$ bezw. $n_{,,} v_{,,} w$ der zugehörigen Lagerkante vorgenommen. Würde für das Wölbgebiet $absc$ eine Schar folcher Lagerkanten beftimmt und diefe Schar in fymmetrifcher Anordnung auf die noch übrigen drei Wölbgebiete übertragen, fo hätte man die Grundlage, um für das etwa im Rohbau mit farbigen Steinen in beftimmter Mufterung auszuführende Gewölbe eine ftreng richtige Bauzeichnung anfertigen zu können.

Werden die einzelnen auf Schwalbenfchwanzverband zufammentretenden Schichten bei gröfseren Spannweiten reichlich lang, fo erfolgt das Einwölben nach Fig. 344 von den Ecken a, b u. f. f. aus nach dem Schwalbenfchwanzverband, von

der Mitte der Widerlager nach dem Scheitel zu jedoch in dreieckigen Wölbgebieten *c*, *d*, *e* u. ſ. f. auf Kuſverband. In dieſem Falle ſind auſser den Wölbſcheiben *d* der Diagonalbogen noch Wölbſcheiben *a* für die auf Kuf zu wölbenden Zwiſchenſtücke erforderlich.

Fig. 344.



Für einen regelmäſsig vieleckigen Raum iſt das Einwölben auf Schwalbenſchwanzverband nach Fig. 345 vorzunehmen. Die Lagerkanten ſind wiederum Schnitte von Normalebenen der Diagonalbogen mit der Gewölbfläche.

Das Austragen der Stirnlinien nach der Annahme des Diagonalbogens *a b* mit der Pfeilhöhe *s c* und dem hiervon abhängigen gröſsten Kreiſe *G* der Kugelfläche, welcher die Gewölbfläche angehört, iſt nach dem in Art. 281 (S. 401) Geſagten bewirkt. Ebenſo iſt in der hinlänglich beſprochenen Weiſe die Grundriſsprojektion *g h* einer Lagerkante der Normalebene *N* des Diagonalbogens *a c* gezeichnet.

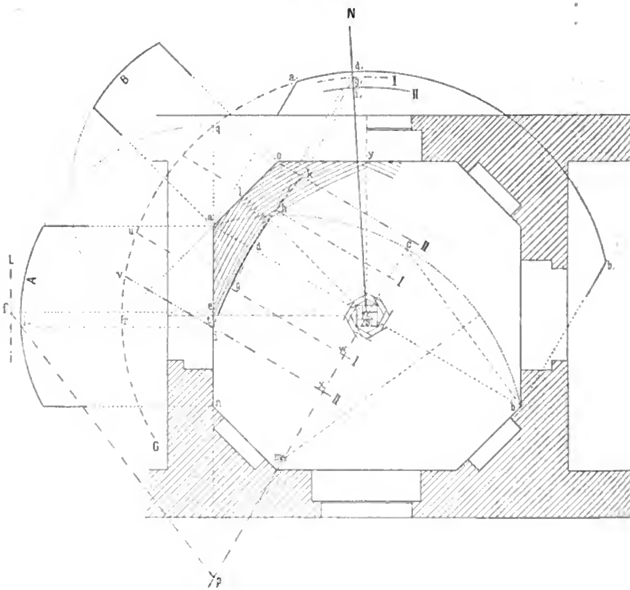
Bei gröſseren regelmäſsig vieleckigen Räumen läſst ſich nach Fig. 346 eine wirkungsvolle Anlage böhmiſcher Kappengewölbe durch das Zuſammentreten ſtrahlenförmig von einer in der Mitte des Raumes aufgeſtellten Säule abzweigender Einzelgewölbe ſchaffen. Das Austragen der Schnittlinien der einzelnen Kappen, das Ausmitteln ihrer Stirnlinien nach der Annahme des durch die Kämpferpunkte *a*, *b*, *c*, *d* eines Gewölbfeldes gehenden Kreiſes *A* mit dem Mittelpunkte *m* und nach dem Feſtſetzen der Pfeilhöhe *m h* bergen nach dem für die Geſtaltung des böhmiſchen Kappengewölbes Vorgetragenen keine Schwierigkeit.

Bei der Ausführung des hier beſprochenen Gewölbes werden in der Richtung

der Diagonalen *a c*, *b d* u. f. f. Verftärkungsgrate gemauert, gegen welche fich die auf Schwalbenfchwanzverband gewölbten, meiftens nur $^1/_2$ Backftein ftarken Kappen, wie bei *r, o,* im Grundrifs angegeben ift, lagern. Hierzu ift bei *r,, q,,* noch ein befonderer Normalfchnitt nach bekannten Mafsnahmen gezeichnet.

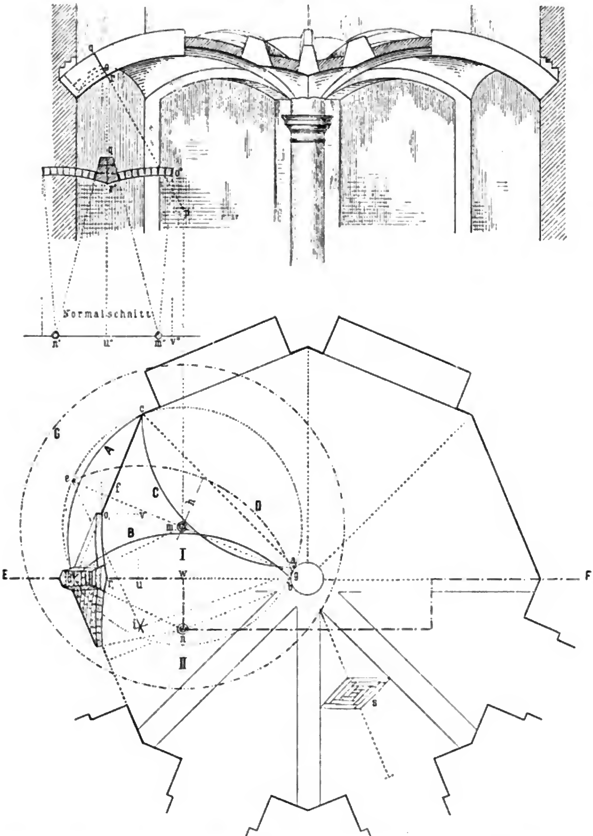
Der Schnitt in der Richtung *E F* bringt die Gewölbanlage zur näheren Anfchauung.

Fig. 345.



Sollen böhmifche Kappengewölbe der in Art. 279 (S. 399) befchriebenen Geftaltung nach unter Anwendung von Rutfchbogen (Schlitten), ähnlich den in Art. 41 (S. 90) erwähnten Rutfchbogen für preufsifche Kappen, über rechteckigem Gewölbfelde von gröfserer Länge eingewölbt werden, fo wird, wie Fig. 347 bei *G* zeigt, der gröfsere Teil des Gewölbes an den fchmalen Seiten in Schichten gemauert, deren über das Gewölbe von Langfeite zu Langfeite ziehenden Stofsfugenkanten in Normalebenen *b h,* und *b q,* zur Stirnlinie *B* der anderen Seiten des Raumes liegen, während das in der Mitte des Gewölbes einzufügende Wölbgebiet auf Kuf ausgeführt wird, wobei hier die Lagerkanten Ebenen *a s,* angehören, welche fich fämtlich in der

Fig. 346.

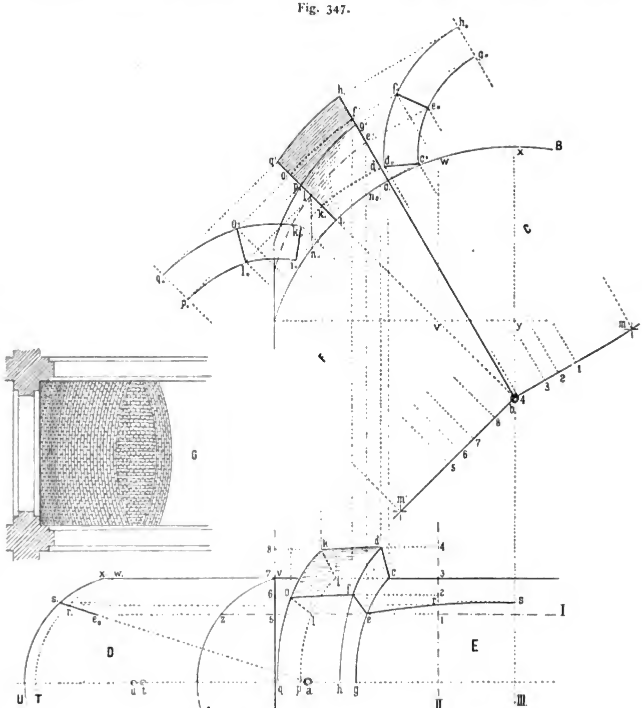


geraden Verbindungslinie der Mittelpunkte der Stirnlinien der schmalen Rechteckseiten schneiden.

Hierdurch entstehen zwei Gruppen besonders gebildeter Wölbverbände. Ueber die Art dieser Verbände giebt die Zeichnung näheren Aufschluss.

Die Gerade $b\,h_{,}$ ift die Spur einer Normalebene des Stirnbogens *B*. Diefe fchneidet das Gewölbe in der zur Hälfte dargeftellten, nach dem Stirnbogen *A* abgeleiteten Fläche $c_{,,}\,g_{,,}\,h_{,,}\,d_{,,}$. Die Lagerfugen $c_{,,}\,d_{,,}$, bezw. $e_{,,}\,f_{,,}$ ftehen fenkrecht zur Kurve $c_{,,}\,e_{,,}\,g_{,,}$; die normale Stärke des Gewölbes ift durch $c_{,,}\,d_{,,} = e_{,,}\,f_{,,} = g_{,,}\,h_{,,}$ gegeben. Ebenfo ift die Schnittfläche $l_{,,}\,p_{,,}\,q_{,,}\,k_{,,}$ des Gewölbes für die Normalebene $b\,q_{,}$ ausgetragen und unter Beachtung der vorhin erwähnten Geftaltung der Laibungsfläche des

Fig. 347.



Gewölbes die lotrechte Projektion der Hälfte einer Wölbfchicht ftark vergröfsert gezeichnet. Die Grundrifsprojektion ergiebt fich mit Hilfe lotrechter Ebenen, wofür die wagrechten Spuren *I*, *III*, bezw. *1*, *2*, *3*, *4* parallel der langen Umfangsfeite des rechteckigen Grundriffes genommen find, ohne befondere Umftände. Infolgedeffen werden auch die Stofsfugenkanten *c e g*, bezw. *i l p* in der wagrechten Projektion erhalten. Da die einzelnen Schichten nach Art des *Moller*'fchen Verbandes gemauert werden, das keilförmige Zufchärfen der Steine nach den Ebenen $b\,h_{,}$ und $b\,q_{,}$ durch Ausgleichung der Dicke der Mörtelfugen in den Stofsflächen aber vermieden werden kann, fo ergiebt fich beim Wölben felbft fchon mit grofser

Näherung der richtige Verlauf der Stofsfugenkanten *ceg*, *ilp* u. f. f., wenn nur von vornherein in der Nähe der Fufspunkte des Gewölbes eine der Zeichnung entfprechende Richtung der Stofsfugenkanten innegehalten wird.

Die Lagerfugenkanten des mittleren Gewölbgebietes *E* find in den wagrechten Projektionen leicht aufzufinden. Für die Ebene *as*, ift *ers* ein Stück der wagrechten Projektion einer Lagerkante. Die lotrechte Ebene mit der wagrechten Spur *II* fchneidet die Gewölblaibung nach dem Kreisbogen *T*, wofür $vw_1 = vw$ des Stirnbogens *B* ift. Der Halbmeffer $w_1 t$ ift gleich dem Halbmeffer *va* des Stirnbogens *A* der fchmalen Rechteckfeite. Der Mittelpunkt *t* liegt, der Erzeugung der Wölbfläche entfprechend, auf der verlängerten Geraden *ag*. Die Ebene as_1 fchneidet den Bogen *T* in r_1; die auf *II* gelegene wagrechte Projektion diefes Punktes ift alfo *r*, und folglich wird *r* ein Punkt der wagrechten Projektion der gefuchten Lagerfugenkante. Nach gleichem Verfahren find zahlreiche Punkte *e*, *s* diefer Lagerkante zu finden.

Bei forgfältiger Ausführung der Wölbung auf Rutfchbogen kann die Laibung diefer Gewölbe felbft ohne Putz bleiben. In ähnlicher Weife kann auch das Einwölben längerer anfteigender böhmifcher Kappengewölbe bei der Anwendung von Rutfchbogen ausgeführt werden. Als Leitfchienen für die Rutfchbogen dienen zwei an den Langfeiten aufgeftellte Wölbfcheiben, deren obere Begrenzung nach den Stirnlinien der langen Umfangsfeiten abgerundet ift.

---

20. Kapitel.

Gufsgewölbe und hängende Gewölbe.

Die Herftellung von Decken aus Gufsmauerwerk oder Grobmörtel, beftehend aus einem Gemenge von Steinabfällen oder kleinen Steintrümmern, Steinfchlag, und Mörtel wurde von den Römern fchon frühzeitig vorgenommen. Die Form diefer Decken entfprach im wefentlichen der Geftaltung der Tonnengewölbe, Kreuz- und Kuppelgewölbe. 290. Gufsgewölbe.

Ueber die Ausführung diefer fog. Gufsgewölbe find in Teil II, Band 2 diefes »Handbuches« eingehendere Mitteilungen enthalten.

Dem Gebiete des eigentlichen Gewölbbaues find derartige Gufsmörteldecken jedoch nicht hinzuzurechnen. Nach dem Erhärten des Grobmörtels bildet die Gufsmörteldecke eine zufammenhängende, mehr oder weniger elaftifche Schale, welche ihrem Gefüge nach von der Anordnung der gewölbten Steindecken in hohem Grade abweicht.

In der Neuzeit ift die Herrichtung von Decken aus Gufsmörtel unter dem Beibehalten beftimmter Gewölbformen wieder fehr rege geworden. Sie werden vielfach und in mannigfachfter Geftaltung und Gröfse zur Anwendung gebracht.

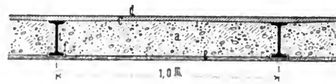
Die Ausführung der als Decken in der Form von Gewölben auftretenden Gufsgewölbe, wobei ein etwa aus 1 Teil Zement, 2 Teilen Sand und 3 bis 6 Teilen Steinfchlag oder Schlackenkies durch entfprechenden Zufatz von Waffer bereiteter Grobmörtel benutzt wird, erfolgt ftets auf einer vollftändig mit Schalung verfehenen Einrüftung des zu überdeckenden Raumes.

Der Grobmörtel oder Beton wird auf die Schalung in dünnen, 10 bis 15 cm dicken Lagen gleichförmig ausgebreitet und hierauf in forgfamer Weife feftgeftampft. Unter ftetem Annäffen durch Waffer, welches mittels einer Giefskanne in dünnen Strahlen der unteren Lage zu teil wird, erfolgt das Auftragen der nach und nach folgenden Betonfchichten, bis die beabfichtigte Dicke der zu bildenden Decke

erreicht ift. Hierbei werden auch gleichzeitig die Gewölbzwickel durch Grobmörtel ausgeglichen.

Im allgemeinen ift die Herftellung der Grobmörteldecken einfach. Werden fie ähnlich den fcheitrechten oder geraden Gewölben mit ebener Unterfläche verfehen, fo entftehen die geraden Betondecken. Die Betonplatte ift eine Füllplatte zwifchen eifernen Trägern. Solche Decken find bereits im vorhergehenden Teile des vorliegenden Heftes behandelt.

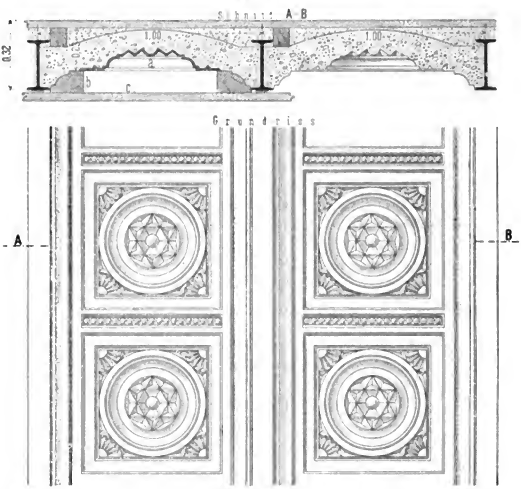
Fig. 348.



Ein weiteres Beifpiel einer geraden Betondecke zeigt Fig. 348. Sie ift im neuen Herzoglichen Krankenhaufe in Braunfchweig ausgeführt.

Zwifchen den 15 cm hohen, in 1 m von Mitte zu Mitte verlegten Walzeifenträgern, deren untere Flanfche zum befferen Haften des 1,5 bis 2,0 cm ftarken Deckenputzes *e* mit einem Streifen Drahtgewebe *f* umlegt find, ruht die Betonfüllung, zufammengefetzt aus 1 Teil Portlandzement, 3 Teilen reinem, fcharfen

Fig. 349.



Kies und 4 Teilen zerkleinerten, gefiebten und gewafchenen Kohlenfchlacken, der fog. Kokeafche. Der Fufsboden über der Decke befteht zunächft aus einer dünnen Schlackengrufslage zum Ifolieren, fodann aus einem 2,5 bis 3,0 cm ftarken Zementanftriche *c* und endlich aus einem Linoleumbelage *d*.

Statt des Zementanftriches ift auch in befonderen Räumen und in den Gängen ein Terrazzo-, bezw. ein Fliefenbelag verwendet.

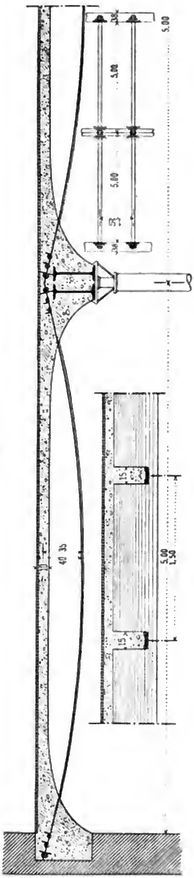


Fig. 350.

Giebt man dem Betonkörper die bogenartige Gewölbform, fo erhält man die fog. gewölbte Betondecke oder die Betonkappe. Auch diefe Deckenbildungen find bereits im vorhergehenden Hefte näher befchrieben.

Häufig erhalten folche Betonkappen über beffer ausgeftatteten Räumen Kaffetten. Ein Beifpiel hierfür zeigt die nach Fig. 349 ausgeführte Decke im Gebäude der Herzoglichen Finanzbehörde in Braunfchweig.

Zur Herftellung der ausgiebig gegliederten Kaffetten des Betonkörpers find gufseiferne Formkaften *a* benutzt. Diefelben find für jedes Deckenfeld in entfprechender Weite auf der Unterrüftung, beftehend aus dem Bretterboden *c* und den forgfältig geftützten Lagerhölzern *b* verlegt, fo dafs über diefer Lage der Stampfformen der Betonkörper aufgebracht werden kann. Nach Befeitigung der Unterrüftung und der Formkaften, deren obere Begrenzungen die Gliederungen der Kaffette bilden, alfo in Rückficht auf leichtes Ablöfen vom Beton entfprechend fchräg oder gekrümmt zu geftalten find, erfcheinen die Kaffetten in der gewünfchten Form.

Aufser den Betondecken finden in gerader oder gewölbter Deckenform noch die fog. *Rabitz*- und die *Monier*-Decken mannigfache Verwendung. 291. *Rabitz*- und *Monier*-Decken.

Im vorhergehenden Heft diefes »Handbuches« ift hierüber fchon Näheres mitgeteilt.

Bei den in Gewölbform hergerichteten *Rabitz*-Decken erhält die eigentliche Mörtelmaffe, der fog. *Rabitz*-Putz (fiehe Teil III, Band 2, Heft 1 diefes »Handbuches«, Abt. III, Abfchn. 1, A, Kap. 10 unter c, 1), durch Einlage eines der Geftaltung der gewölbten Decke nachgeformten Drahtgewebes eine befondere Unterftützung und Haltbarkeit. Hierbei können einzelne ftärkere Eifendrähte als Hauptträger des Drahtgewebes eingeführt werden.

Diefes Drahtfyftem wird vollftändig mit dem Mörtelputz überzogen, bis die gewünfchte Form der Decke erzielt ift. Die Drahteinlage kann in der Mitte oder im unteren Viertel der Decke bleiben.

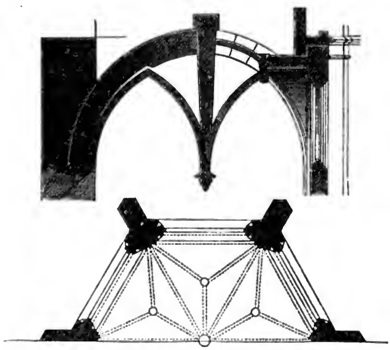
Vielfach entfpricht die gewählte Gewölbform den preufsifchen Kappen mit oft fehr geringer Pfeilhöhe. Es ift aber nicht ausgefchloffen, bei *Rabitz*-Decken auch die Formen der Klofter-, Kreuz- und Kuppelgewölbe zu Grunde zu legen. Alsdann mufs das Drahtgewebe in feiner Gefamtanordnung das Gerippe diefer Gewölbform abgeben. Vielfach treten aber derartige gewölbte *Rabitz*-Decken nur als Scheingewölbe unter befonders hergerichteten, an fich vollftändig tragfähigen Raumdecken auf.

Bei den *Monier*-Decken wird die Gewölbform durch die Einlage eines aus

ftarkem Eifendraht beftehenden Gerippes angebahnt. Diefes Gerippe wird aus 5 bis 25 mm im Durchmeffer ftarken eifernen Längs- und Querftangen hergerichtet. An den Kreuzungsftellen der Stäbe wird durch Drahtumwindungen ihre Verbindung bewirkt. Diefes Tragfyftem der Decke ift ein mit 10 bis 15 cm, unter Umftänden mit 20 cm weiten Mafchen verfehenes, korbartig gebildetes Geflecht, welches zur Herftellung der geplanten Decke mit Zementmörtel überzogen wird (fiehe an der eben genannten Stelle diefes »Handbuches«).

Giebt man dem korbartigen Drahtgeflecht als Gerippe die Form von cylindrifchen, fphärifchen oder fphäroidifchen Gewölben der verfchiedenften Art, fo können

Fig. 351 [33]).



diefe Bildungen von Gufsgewölben, zumal da die Tragfähigkeit ebener, bezw. gekrümmter *Monier*-Platten ziemlich bedeutend ift, unter Umftänden mit Vorteil Verwendung finden.

Das Drahtgerippe hat die Aufgabe, die Zugfpannungen der ebenen, bezw. gekrümmten belafteten Mörtelplatte aufzunehmen, während die Druckfpannungen dem erhärteten Zementmörtel zu teil werden follen.

Aus diefem Grunde ift bei der Anordnung der *Monier*-Platten, da man ftatt des eigentlichen Gewölbes hier die elaftifche ebene oder bogenförmige Platte in Betracht zu ziehen hat, das Drahtgerippe der Zugfeite diefer Platte thunlichft nahe zu legen, fo dafs an diefer Seite nur eine äufserft dünne Mörtelfchicht als Ueberzug des Drahtwerkes vorhanden zu fein braucht.

Ueber die Berechnung der Betongewölbe mit Eifeneinlagen fiehe Teil I, Band 1, Heft 2, 3. Aufl. (Art. 115, S. 95, insbefondere Gleichung 82 u. 83) diefes »Handbuches«.

292. Gurtträgerdecken. Die Forderung, das zur Herftellung einer aus Eifen und Beton beftehenden Deckenbildung eingefügte Eifen in einen einzigen auf Zug in Anfpruch genommenen Deckenteil zu legen, hat zur Konftruktion der in neuerer Zeit mehrfach ausgeführten fog.

33) Fakf.-Repr. nach: GOTTGETREU, R. Lehrbuch der Hochbau-Konftruktionen. Teil I. Berlin 1880. S. 190.

Gurtträgerdecken, Syftem *Möller*, Veranlaffung gegeben. Die Bauweife diefer Decken ift der Firma *Drenkhahn & Sudhop* in Braunfchweig gefetzlich gefchützt und wurde bereits im vorhergehenden Heft diefes »Handbuches« vorgeführt. Dafelbft wurde fchon gefagt, dafs diefe Decken als eine Reihe von Fifchbauchträgern erfcheinen. Die oberen Gurtungen liefern die zufammenhängende Deckentafel, welche durch die lotrechten Wände der unten fifchbauchartig begrenzten Stege geftützt wird. Dem unteren Rande in geringem Abftande folgend, ift in diefe Stege ein Zugband aus Flacheifen eingebracht, welches an beiden Enden in der oberen Deckentafel durch aufgenietete Querwinkel verankert wird. Hierdurch wird das Uebertragen der Spannung der Eifenzuggurtung auf die Betondeckentafel als Druckgurtung ermöglicht. Zweckmäfsig wird das Flacheifen zum Fefthalten des Putzes der unteren Fläche des Steges mit Drahtgewebe umlegt.

Fig. 350 veranfchaulicht eine Konftruktion von Gurtträgerdecken, wie fie bei landwirtfchaftlichen Gebäuden ausgeführt werden.

Walzeifenträger, durch gufseiferne Säulen geftützt, tragen die Felder der Gurtträgerdecken. Da die Walzeifenträger vom Betonkörper mit umhüllt werden, fo find diefelben hierdurch bei Feuersgefahr gegen unmittelbaren Angriff der Flammen gefchützt. Die Ausführung erfolgt auf einer kaftenartigen, verfchalten Unterrüftung.

293. Hängende Gewölbe.

Werden bei einer gewölbten Decke einzelne Stützkörper, wie Pfeiler, Säulen u. f. w. fortgelaffen und wird hierfür Erfatz durch eine oberhalb des Gewölbes in kräftiger Weife hergerichtete Tragkonftruktion gefchaffen, an welche die zu ftützenden Teile aufgehängt werden, fo entfteht das fog. hängende Gewölbe (Fig. 351).

Der Hauptbeftandteil desfelben wird alfo ftets das mit gröfster Sicherheit zu konftruierende Tragwerk bleiben, möge dasfelbe als Gurtbogenfyftem aus Stein oder unter ausfchliefslicher Verwendung von Eifen hergerichtet werden. Im allgemeinen müffen die hängenden Gewölbe als äufserft gekünftelte Deckenbildungen angefehen werden. Bei der Möglichkeit des leicht eintretenden Verfchiebens oder Senkens ihrer aufgehängten Stützpunkte ift auch die nötige Sicherheit ihrer Standfähigkeit nur durch das Aufwenden koftfpieliger und zufammengefetzter Nebenkonftruktionen zu erreichen. Ihre Anwendung kann aus diefen Gründen nicht empfohlen werden. Ein näheres Eingehen auf ihre Anordnung erfcheint hier überflüffig.

Beifpiele von hängenden Gewölben, namentlich aus der Zeit der Spätgotik, find in grofser Zahl bei den Kirchenbauten Englands zu finden.

C. Verglaſte Decken und Deckenlichter.

Von Adolf Schacht und Dr. Eduard Schmitt.

294. Ueberſicht.

Verglaſte Decken und Deckenlichter, welch letztere meiſt »Oberlichter«[34]) geheiſsen werden, haben den Zweck, den unter ihnen befindlichen Räumen Licht zuzuführen, dieſelben aber zugleich gegen das Eindringen von Staub, kalter Luft etc. abzuſchlieſsen. Da die verglaſten Dächer und Dachlichter im nächſtfolgenden Hefte (Abt. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39) dieſes »Handbuches« eine geſonderte Behandlung erfahren werden, ſo ſind an dieſer Stelle im weſentlichen nur ſolche Deckenlichter zu beſprechen, welche entweder:

1) die nach oben zu abſchlieſsende Decke eines Raumes, bezw. einen Teil dieſer Decke bilden, oder

2) welche in Zwiſchendecken gelegen ſind, bezw. die Zwiſchendecke ſelbſt bilden.

Hiernach bleiben die in äuſseren Dachflächen liegenden lichtdurchlaſſenden Flächen, die man zuweilen auch als »Oberlichter« bezeichnet, welche aber im »Handbuch der Architektur« die Benennung »Dachlichter« führen, unberückſichtigt. Hingegen werden Deckenlichter, welche man in Bürgerſteigen, Bahnſteigen und ſonſtigen regelmäſsig zu betretenden Flächen anordnet und die teils zu der einen, teils zu der anderen der vorhin geſchiedenen Arten gezählt werden können, mitbeſprochen werden.

Dies vorausgeſchickt, laſſen ſich im folgenden unterſcheiden:

a) Deckenlichter, welche ſtändig begangen, bezw. befahren werden, und

b) verglaſte Decken (Glasdecken) und Deckenlichter, welche für gewöhnlich gar nicht, ſondern höchſtens nur zum Zweck der Reinigung oder Ausbeſſerung betreten werden.

Wenn deshalb die nachfolgende Unterſcheidung auch nicht vollſtändig zutreffend iſt, ſo mögen die unter a fallenden Deckenlichter kurzweg als begehbare und die unter b einzureihenden Konſtruktionen als nicht begehbare bezeichnet werden.

Bezüglich der den Lichtöffnungen zu gebenden Abmeſſungen ſei auf Teil III, Band 2, Heft 5 (Abt. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39: Verglaſte Dächer und Dachlichter [unter a]) und auf Teil III, Band 3, Heft 1 (Abt. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1: Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht[35]), ſowie bezüglich der Gemäldegalerien auf Teil IV, Band 6, Heft 4 (Abt. VI, Abſchn. 4, B, Kap. 4, unter c, 1) dieſes »Handbuches« verwieſen.

[34]) Im »Handbuch der Architektur« wird der Gebrauch der Bezeichnung »Oberlicht« vermieden, um Miſsverſtändniſſen vorzubeugen. Wie bekannt, nennt man nicht ſelten hoch einfallendes Seitenlicht gleichfalls »Oberlicht«. (Vergl. auch Teil III, Band 3, Heft 1 [Abt. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1] und Band 4, 2. Aufl. [Abt. IV, Abſchn. 4, Kap. 1] dieſes »Handbuches«.)

[35]) 2. Aufl.: Teil III, Band 4 (Abt. IV, Abſchn. 1, A, Kap. 1: Verſorgung der Gebäude mit Sonnenlicht).

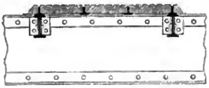
21. Kapitel.

Begehbare Deckenlichter.

Im Inneren der Gebäude werden begehbare Deckenlichter erforderlich, wenn ein Raum das Licht aus dem darüber gelegenen Raume erhalten und wenn in letzterem der Verkehr nicht unterbrochen werden ſoll. Alsdann muſs die zwiſchen beiden befindliche Decke lichtdurchläſſig, alſo im weſentlichen aus Glas konſtruiert werden. Die beide Räume trennende Zwiſchenkonſtruktion iſt für den unteren »Deckenlicht«, bezw. »verglaſte Decke« und für den oberen »Glasfuſsboden«. 295. Deckenlichter aus Glasplatten.

Die Konſtruktion eines derartigen Deckenlichtes läuft im allgemeinen darauf hinaus, daſs man zwiſchen die meiſt eiſernen Haupttragebalken der Decke, welche in der Regel I-förmigen Querſchnitt und die der vorkommenden gröſsten Belaſtung entſprechenden Abmeſſungen erhalten, ſchwächere Querträger aus geeigneten Formeiſen, meiſt ⊥-Eiſen, ſetzt und dieſelben durch Winkellaſchen mit erſteren verbindet. In die Fache des ſo gebildeten ſchmiedeeiſernen Roſtes werden die Glasplatten (meiſt in Kitt) verlegt. Fallen die gedachten Querträger ſehr ſtark aus, ſo ſtellt man ſie am beſten aus I-Eiſen her und lagert erſt auf dieſen die ⊥-Eiſen, welche die Glasplatten aufzunehmen haben (Fig. 352). Im allgemeinen empfiehlt es ſich, für alle dieſe Träger, bezw. Stabe hohe, aber ſchmale Profile zu wählen, um möglichſt wenig Licht zu verſperren.

Fig. 352.



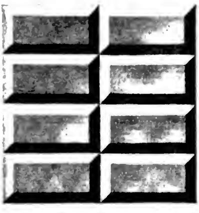
1/25 w. Gr.

Sind Räume von bedeutenden Grundriſsabmeſſungen mit einer durchgehenden und begehbaren verglaſten Decke zu überſpannen, ſo wird eine gröſsere Zahl von ſtärkeren Längs- und Querträgern erforderlich; häufig genügen dann einfache Walzbalken nicht mehr, und es kommen Blechträger zur Verwendung. Die durch die Längs- und Querträger gebildeten Fache haben alsdann meiſt eine ſo beträchtliche lichte Weite, daſs für die Lagerung der Glasplatten noch beſondere Sproſſen anzuordnen ſind[36]).

Für die Glasplatten verwendet man häufig Rohglas, welches für die in der Regel vorkommenden Verhältniſſe meiſt 20 bis 25 mm ſtark zu wählen ſein wird[37]).

Ueber das Preſshartglas, welches infolge ſeiner groſsen Biegungsfeſtigkeit und ſeiner Widerſtandsfähigkeit gegen Stoſswirkungen im vorliegenden Falle in erſter Reihe in Frage kommen ſollte, liegen noch nicht ſo allgemein günſtige Erfahrungen vor, daſs ſeine Benutzung unbedingt empfohlen werden könnte; Tafeln, die vorher auf das ſorgfältigſte geprüft worden ſind, ſpringen ſpäter bisweilen ohne erſichtliche Urſache. Durch Aenderungen im Fabrikationsvorgang iſt indes in neuerer Zeit dieſem Miſsſtand begegnet worden,

Fig. 353.



Glashartguſs-Fuſsbodenplatte der Aktiengeſellſchaft für Glasinduſtrie vorm. *Friedr. Siemens* zu Dresden.

[36]) Ein einſchlägiges Beiſpiel ſiehe in: Fortſchritte auf dem Gebiete der Architektur, Heft 2, S. 7.

[37]) Ueber Berechnung der Glasdicke ſiehe Teil III, Band 3, Heft 5 (Abt. III, Abſchn. 2, F, Kap. 39, unter b, 3) dieſes »Handbuches«.

und die von der Aktiengefellfchaft für »Glasinduftrie vorm. *Fried. Siemens*« zu Dresden erzeugten »Glashartgufs-Fufsbodenplatten« (Fig. 353) haben fich bewährt.

Jedenfalls mufs auch noch des von *Friedr. Siemens* in Dresden in neuerer Zeit erzeugten Drahtglafes (Rohglas, in deffen Innerem fich ein feinmafchiges Eifendrahtgewebe von 1 mm Stärke befindet) gedacht werden, welches für den fraglichen Zweck benutzt werden kann; fchon bei einer Dicke von 6 bis 8 mm kann es ohne Gefahr des Durchbrechens betreten werden.

Damit die Glasplatten für das Begehen nicht zu glatt find, werden fie nicht felten an ihrer Oberfläche gerieft oder kreuzweife gefurcht hergeftellt; fie heifsen dann wohl auch Glasfliefen (fiehe Fig. 352 u. 353). Letztere werden namentlich in Parifer Gefchäftshäufern in grofsem Umfange verwendet; fie meffen dort 35 cm im Geviert, find 60 bis 70 mm dick und mit 10 mm tiefen, einander kreuzenden Riefen verfehen; die Platten werden gegoffen und haben eine etwas grünliche Farbe. Die

Fig. 354.

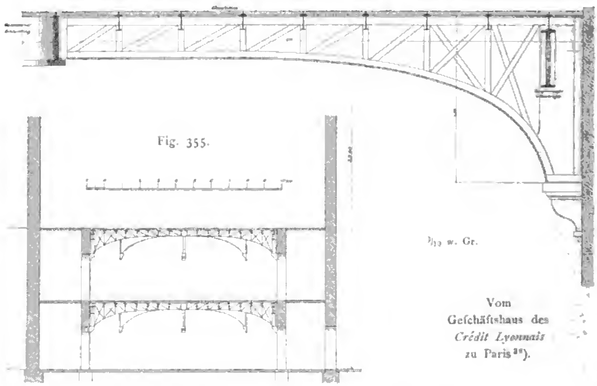


Fig. 355.

Vom Gefchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris[38]).

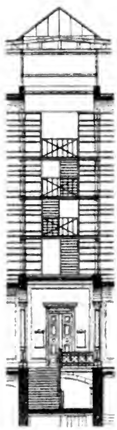
eben erwähnten Glashartgufs-Fufsbodenplatten meffen 15 bis 42 cm im Geviert und find nach drei verfchiedenen Muftern gerieft. In neuefter Zeit hat die »Aktiengefellfchaft fur Glasinduftrie vorm. *Friedr. Siemens*« zu Dresden fog. »genarbte Drahtglasplatten« in den Handel gebracht, welche das Ausgleiten, das auf ungenarbtem Glas vorkommen kann, verhüten; fie werden in Breiten bis zu 75 und in Längen bis zu 120 cm geliefert.

Als erftes Beifpiel fei die einfchlägige Konftruktion im Gefchäftshaus des *Crédit Lyonnais* zu Paris (Fig. 354 u. 355[38]) vorgeführt. In demfelben find zwei Kellergefchoffe übereinander angeordnet, welche beide nur mittelbares Licht von oben her — durch die Deckenlichter, bezw. durch gläferne Fufsböden — erhalten.

[38]) Nach: Contag, M. Neuere Eifenconftructionen des Hochbaues in Belgien und Frankreich. Berlin 1889. S. 12, 13 u. Taf. 6.

Im Inneren des im Grundriſs zwölfeckig geſtalteten Treppenhauſes (Fig. 355) von 16 m Durchmeſſer, welches nach oben durch ein verglaſtes Zeltdach abgeſchloſſen iſt, befindet ſich in beiden Kellergeſchoſſen eine ringförmige Pfeilerſtellung, auf welcher die maſſive Treppenkonſtruktion des Erdgeſchoſſes ruht. Der innerhalb dieſer Pfeiler freibleibende kreisförmige Raum von 10 m Durchmeſſer iſt durch ein Deckenlicht abgeſchloſſen, deſſen Tragwerk nach Art der Kuppel-, bezw. Zeltdächer angeordnet iſt. Die 8 radial geſtellten Hauptträger (Binder) desſelben liegen mit ihrer Oberkante nahezu bündig mit dem Fuſsboden des darüber befindlichen Geſchoſſes und ſind als Fachwerkträger konſtruiert (Fig. 354); ſie ruhen an den Umfaſſungen auf ſteinernen Konſolen und ſind daſelbſt durch einen ringförmigen Gitterträger miteinander verbunden; in der Mitte ſtoſsen die Hauptträger in einem achteckigen guſseiſernen Schluſsring zuſammen. Zwiſchen dieſen Trägern liegen, parallel zu den Umfaſſungen, 8 ſchwächere Träger (Pfetten) von I-förmigem Querſchnitt, welche ſchiefwinkelig mittels guſseiſerner Knaggen und Ecken angeſchloſſen ſind und die ⊥-Eiſen tragen, in denen die Glasflieſen ruhen (ſiehe auch Fig. 352).

Fig. 356.



Von der Univerſitätsbibliothek zu Halle [39]). 1/250 w. Gr.

Solche Glasflieſenbeläge ſind in ſämtlichen Lichthöfen des genannten Geſchäftshauſes zu finden; ſie ſind auch in anderen Pariſer Bauten, z. B. im *Comptoir d'escompte*, in den *Grands Magaſins du Printemps* etc., verwendet worden und haben bezüglich der Erhellung der darunter gelegenen Räume ſehr günſtige Ergebniſſe geliefert [38]).

Als weiteres hierher gehöriges Beiſpiel diene das über dem Treppenhaus der Univerſitätsbibliothek zu Halle a. S. angebrachte Deckenlicht (Fig. 356 [39]).

Dieſes ziemlich zentral gelegene Treppenhaus wird von oben beleuchtet; die Treppe führt nur bis zum I. Obergeſchoſs; das ganze II. und III. Obergeſchoſs bildet ein Büchermagazin. Das Deckenlicht des Treppenhauſes befindet ſich im Mittelgang des letzteren, und das Licht fällt durch ein über dieſem angeordnetes Dachlicht ein. Der Verkehr in dieſem Mittelgange durfte nicht unterbrochen werden; deshalb muſste das Deckenlicht begehbar konſtruiert werden. Auf einer untergelegten Balkenlage aus I-Eiſen liegt ein Roſt von hochkantig geſtellten Flacheiſen mit 30 cm Maſchenweite; die Flacheiſen ſind mit Hilfe von Winkellaſchen miteinander verſchraubt; letztere dienen den Glasplatten als Auflager. Die Glasplatten ſind aus kreuzgekerbtem Rohglas hergeſtellt, deſſen geringſte Stärke in den Kerben noch 2,5 cm beträgt [39]).

Aus Glasplatten gebildete begehbare Deckenlichter kommen indes nicht bloſs im Inneren der Gebäude vor, ſondern ſie ſind auch in manchen anderen Fällen zur Anwendung gekommen. Namentlich waren in neuerer Zeit die Umbauten der Bahnhöfe gröſserer Städte Veranlaſſung zur Ausführung ſolcher Deckenlichter, ſobald es ſich darum handelte, die einzelnen Bahnſteige untereinander und mit dem Empfangsgebäude durch unterirdiſche Gänge oder Tunnel zu verbinden.

Dieſen dem Perſonen-, Gepäck- und Poſtverkehr dienenden Tunneln wird die Haupterhellung allerdings durch die Treppenmündungen oder durch künſtliches Licht zugeführt; indes an denjenigen Stellen, wo dieſe Tunnel unter Zwiſchenbahnſteigen liegen, zu denen keine Treppen emporführen, ebenſo für andere unter den Bahnſteigen befindliche unterirdiſche Räume werden Deckenlichter angeordnet, und dieſe müſſen naturgemäſs dem auf den betreffenden Bahnſteigen herrſchenden Verkehre genügenden Widerſtand leiſten.

Derartige Deckenlichter erhielten meiſt eine genügend ſtarke Verglaſung, die in einem unterſtützenden engen Eiſenroſt ruht. Fig. 357 zeigt ein im Freien gelegenes Deckenlicht der fraglichen Art in Querſchnitt und Längsſchnitt; behufs

[39]) Nach: Zeitſchr. f. Bauw. 1885, S. 338 u. Bl. 49.

Fig. 357.

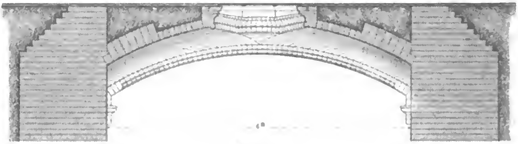


1/50 w. Gr.

Ableitung der atmofphärifchen Niederfchläge find die Glastafeln der Quere nach geneigt angeordnet; der Roft ift aus **L**- und **⊥**-Eifen zufammengefetzt.

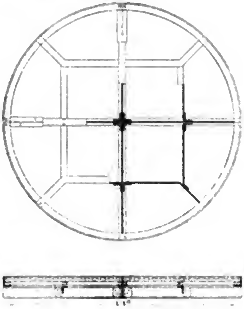
In Fig. 359 ift ein kreisrundes Deckenlicht von 1,50 m lichtem Durchmeffer dargeftellt, wie es in den gewölbten Decken der Tunnel im Hauptbahnhof zu Hannover

Fig. 358.



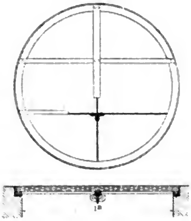
1/60 w. Gr.

Fig. 359.



1/30 w. Gr.

Fig. 360.



Vom Hauptbahnhof zu Hannover.

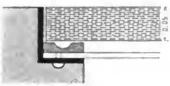
zur Ausführung gekommen ift, und in Fig. 360 ein folches von 1,00 m Durchmeffer dafelbft. Fig. 358 veranfchaulicht den oberen Teil des betreffenden Tunnels im Querfchnitt, woraus erfichtlich ift, dafs fich über der Durchbrechung des Gewölbes Stirnmauern *s* erheben, die oben einen Steinkranz tragen, worin der eiferne Roft lagert.

Nicht immer ift für die Herftellung der Stirnmauern der erforderliche Raum vorhanden, und man mufs alsdann den Abfchlufs gegen die Gewölbüberfchüttung durch eine Eifenkonftruktion bewirken [40]).

[40]) Zwei hierher gehörige Beifpiele find zu finden im oben genannten Hefte von: Fortfchritte auf dem Gebiete der Architektur (S. 10 u. Fig. 10, fowie 11 [S. 12]).

Die Glasplatten erhalten meiſt zwiſchen 2,5 und 4,0 cm Dicke und werden entweder in ein Kittbett (Fig. 357) oder auf einen Zwiſchenrahmen aus Holz (Fig. 361) gelagert. Letzterer erhält zur Aufnahme und Ableitung des Schwitzwaſſers und des an den Seitenkanten der Platten durchſickernden Auſsenwaſſers an ſeiner Oberſeite häufig eine Rille. Indes iſt ein Kittbett, am beſten ein ſolches aus einem der Feuchtigkeit und den ſonſtigen äuſseren Einflüſſen längere Zeit Widerſtand leiſtenden Aſphaltkitt, vorzuziehen, weil dadurch die gleichmäſsigere Auflagerung der Glasplatten geſichert iſt.

Fig. 361.



1/5 w. Gr.

Statt der Glastafeln ſind in lebhaft von Fuhrwerken benutzten Durchfahrten etc. auch ſchon Pflaſterwürfel aus Rohglas verwendet worden, welche in Abmeſſungen bis zu 165 mm Stärke bei 150 mm Seitenlänge und einem Gewicht von 9 kg erzeugt werden.

In der Regel erſcheint es geboten, unter begehbaren Deckenlichtern, welche nach einer der im vorhergehenden beſchriebenen Konſtruktionen ausgeführt ſind, ein Drahtgitter anzuordnen, welches bei etwaigem Bruch der Glasplatten etc. den darunter befindlichen Perſonen den erforderlichen Schutz gewährt. Bei Verwendung von genügend dickem Drahtglas ſind ſolche Vorkehrungen nicht notwendig.

296.
Deckenlichter aus Glasprismen und Linſen.

Schon ſeit längerer Zeit hat man vielfach, beſonders in Nordamerika und England, zur Erhellung von Kellerwohnungen, von im Kellergeſchoſs gelegenen Geſchäftsräumen, von rückwärtigen Teilen erdgeſchoſſiger Werkſtätten und Läden, von Räumen, welche vor ſtädtiſchen Gebäuden unter dem Bürgerſteig angeordnet ſind, von Fluren etc., welche vom Sonnenlicht entweder gar nicht oder nur in ſehr

Fig. 362.

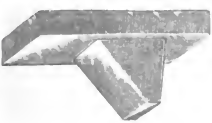


Fig. 363.

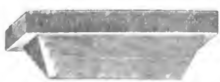


Fig. 364.



Fig. 365.

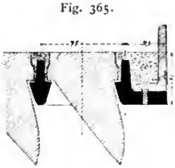
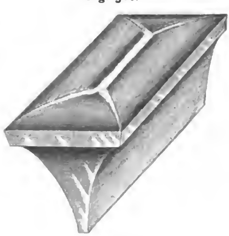
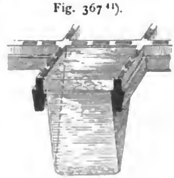


Fig. 366.



1/4 w. Gr.

Fig. 367 [41]).



[41]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

geringem Maſse erreicht werden, Glasprismen und Glaslinſen verwendet. Die im vorhergehenden Artikel vorgeführten Glasplatten werden hauptſächlich dann benutzt, wenn in einen unterirdiſch gelegenen Raum Lichtſtrahlen lotrecht von oben einfallen ſollen; Glasprismen und -Linſen hingegen können nicht nur unter gleichen Verhältniſſen, ſondern auch dann Anwendung finden, wenn man einem unterirdiſchen Raum hohes Seitenlicht zuführen will. In letzterem Falle werden in den Bürgerſteigen, den Hofräumen etc. Lichtſchächte angeordnet und dieſe alsdann in der Höhe der Bürgerſteig-, Hof- etc. Oberkante mit einem guſseiſernen Roſt abgedeckt, in deſſen einzelne Maſchen Gläſer eingeſetzt und eingekittet werden, von denen jedes entweder ein einzelnes Prisma oder eine einzelne Linſe bildet oder an ſeiner Unterfläche eine Anzahl von kleineren Prismen oder Linſen trägt.

Fig. 368[41]).

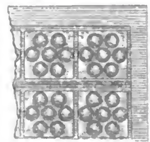
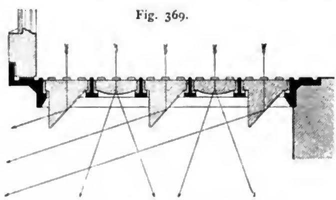


Fig. 362 u. 363 zeigen zwei Glasprismen der Firma *Warmbrunn, Quilitz & Co.* zu Berlin; erſteres miſst 8 × 15 cm in der Grundfläche und iſt etwa 2,3 cm hoch; letzteres hat 6,5 × 17,5 cm Fläche und ca. 2,3 cm Höhe. In Fig. 364 iſt eine Glaslinſe derſelben Firma veranſchaulicht mit 7,5 × 7,5 cm Grundfläche und 2,3 cm Höhe.

In Fig. 367[41]) hängt in jeder Maſche eines eiſernen Roſtes ein einzelnes Prisma von 6 × 11 cm Grundfläche und 10 cm Höhe, während bei der Anordnung in Fig. 368[41]) die 30 bis 50 cm im Geviert meſſenden Glastafeln an ihrer Unterfläche mit je 7 halbkugelförmigen Linſen (um 2,5 bis 4,0 cm vorſpringend) verſehen ſind. Bei dem durch Fig. 369 veranſchaulichten, aus England ſtammenden Deckenlicht ſind in die Maſchen des Eiſenroſtes abwechſelnd je ein Glasprisma und eine Glaslinſe verſenkt.

Fig. 369.



Hermann Schwinning in Berlin verwendet Prismen von der Geſtalt in Fig. 366, welche 15,5 × 68,0 cm meſſen; an der oberen Fläche beſitzen ſie eigenartig geformte Rippen, welche das Ausgleiten der Fuſsgänger verhüten. Sie werden in Rahmen

Fig. 370.

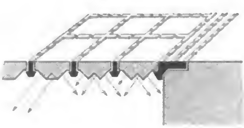
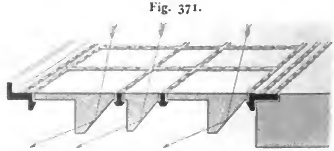
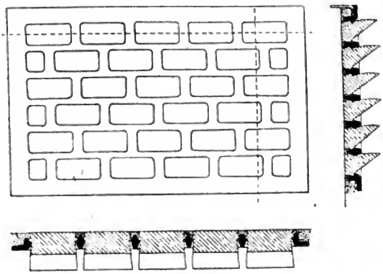


Fig. 371.



aus Schmiedeeiſen geſetzt, die nach ihrer Fertigſtellung verzinkt werden, alſo gegen Roſt geſchützt ſind. Die Prismen werden darin faſt Glas an Glas mittels Zement verlegt, und auf 1 qm Lichtfläche entfallen 80 Stück ſolcher Glaskörper.

Fig. 372.



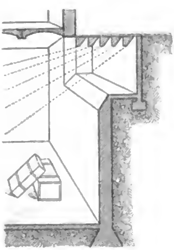
$^1/_{125}$ w. Gr.

Zu erwähnen find auch noch die der neueften Zeit entftammenden »Luxferprismen«[42]). Fig. 372 zeigt einen im Bürgerfteig verlegten Eifenrahmen, durch den die »Multiprismen« in Zement verlegt find; Fig. 365 giebt die Form derfelben näher an. Diefelbe Anftalt erzeugt auch »Luxferglasfliefen«.

In manchen Fällen hat man Glasplatten verwendet, welche an ihrer Unterfläche mit prismenartig geftalteten Vorfprüngen, bezw. Vertiefungen verfehen find, wie dies z. B. Fig. 370 zeigt.

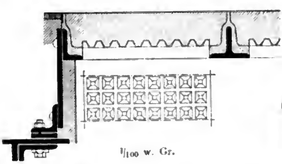
Letztere Anordnung, ebenfo die Ausführungen in Fig. 371, 373 u. 375 rühren von der Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen bei Bremen her, welche feit längeren Jahren folche Glaserzeugniffe in den Handel gebracht hat. In Fig. 372 u. 373 wird das Licht hauptfächlich nach einer Seite geworfen, fo dafs der zu erhellende Raum nicht unmittelbar unter dem Deckenlicht zu liegen braucht; die betreffenden Glaskörper find $9{,}2 \times 11{,}8$ cm und $18{,}0 \times 11{,}8$ cm grofs. Bei der Anordnung nach Fig. 370 wird das Licht nach allen Seiten zerftreut, fo dafs dabei vorausgefetzt ift, der zu erhellende Raum befinde fich gerade unter dem Deckenlicht. Neuerdings hat die genannte Firma auch Einfalllichter für folche Flächen in den Handel gebracht, die einem Wagenverkehr ausgefetzt find; die einzelnen Gläfer find kleiner und dicker und erfordern einen kräftigeren Rahmen. Fig. 375 endlich zeigt die Anwendung von Glasprismen, wenn durch eine Steintreppe hindurch der darunter gelegene Raum erhellt wird; man kann indes auch die Glasprismen felbft ftufenartig übereinander fetzen.

Fig. 373.



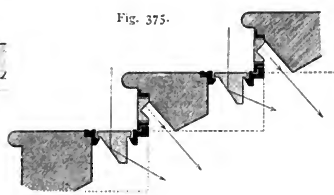
Aehnlich geftaltet find die in Frankreich gebräuchlichen, zumeift aus der Fabrik von Saint-Gobain herrührenden Glaskörper. Fig. 374[43]) ftellt einen Teil einer Glasdecke dar, durch welche ein grofser, im Erdgefchofs gelegener Saal des *Comptoir d'escompte* zu Paris erhellt wird.

Fig. 374[43]).



$^1/_{100}$ w. Gr.

Fig. 375.



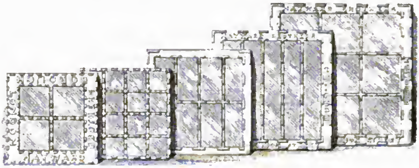
[42]) Erzeugt vom »Deutfchen Luxfer-Prismen-Syndikat« zu Berlin.

[43]) Nach: *La femaine des conftr.*, Jahrg. 10, S. 92.

Dieſe Decke wird von eiſernen Säulen getragen, auf denen zunächſt Zwillingsbalken (aus je zwei I-förmig geſtalteten Blechträgern zuſammengefügt) ruhen. Zwiſchen dieſen ſind die ⊥-förmigen Sproſſen angeordnet, in welche die Prismengläſer, nachdem vorher ein Bett aus Glaſerkitt ausgebreitet worden war, verlegt worden ſind.

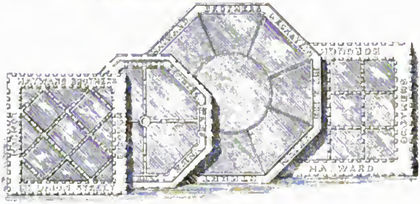
Welche Mannigfaltigkeit in der Form ſolche »Deckenlichtplatten« und der Geſtaltung ihrer Oberfläche zu finden iſt, zeigen die in Fig. 376 u. 377 dargeſtellten Erzeugniſſe von *Hayward Brothers & Eckſtein* zu London.

Fig. 376.



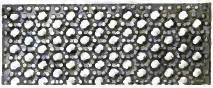
$^1/_{15}$ w. Gr.

Fig. 377.



In den Bürgerſteigen der Hauptverkehrsſtraſsen von New York und anderen Städten der Vereinigten Staaten findet man zahlreiche Deckenlichter (Fig. 378 [44]), welche die unter den Bürgerſteigen gelegenen unterirdiſchen Räume zu erhellen haben. Sie beſtehen aus einem guſseiſernen Roſt, in deſſen kreisförmige Durchbrechungen Glaslinſen eingeſetzt ſind (Fig. 380 [45]).

Fig. 378 [44]).



An die Linſen iſt eine ſchraubenförmige Nut angegoſſen; in die Durchbrechungen des Eiſenroſtes iſt ein Stift eingeſteckt; Einſetzen und Abdichten der Glaslinſen erfolgen mit Hilfe eines eigenen Schlüſſels durch Bajonettverſchluſs, wie dies aus Fig. 380 zu erſehen iſt. Zur vollkommenen Abdichtung wird zwiſchen den koniſchen Hals des Eiſengerippes und die Linſe ein Kautſchukring gelegt. Auch die ſchon genannte Firma *Gebr. Klencke* in Hemelingen liefert linſenartige Gläſer.

Biswellen ſind dieſe Linſen nach unten prismenartig verlängert (Fig. 379). In Form von Prismen enden auch die von *Jul. Staehr* in Berlin gelieferten ſog. »Glasſchuppen«, die nach oben zu gleichfalls linſenförmig geſtaltet ſind (Fig. 381).

Wie leicht erſichtlich, wird durch ein nach Fig. 362 bis 367 geformtes Prisma ein mächtiges Bündel von konvergierenden Lichtſtrahlen, welche ſeine Oberfläche treffen, zu einem parallelen Bündel zuſammengefaſst und dadurch die Lichtſtärke für

44) Vielfach von den *Humbold-Iron-Works* in New York und von *F. M. Hicks & Co.* in Chicago ausgeführt.

45) Fakſ.-Repr. nach: HAARMANN's Zeitſchr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

den darunter befindlichen Raum nicht allein vermehrt, fondern in vielen Fällen darin das Licht auch beffer verteilt. Ganz ähnlich verhält es fich mit der Linfenform. Die Wirkung der Prismen und Linfen kann noch erhöht werden, wenn man das

Fig. 379.

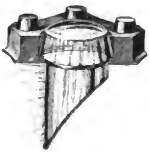
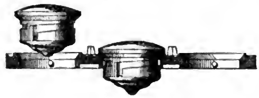
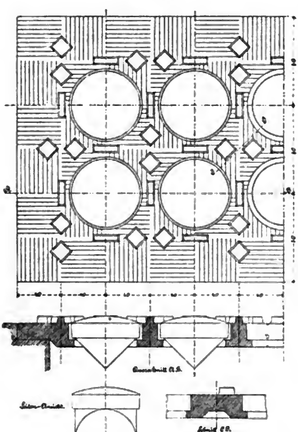


Fig. 380 [43]).



durch diefelbe geleitete Licht auf grofse Spiegelflächen führt; fobald letztere um eine wagrechte Achfe drehbar find, kann man fie zu jeder Tageszeit in eine folche Stellung bringen, dafs fie das Licht in den zu erhellenden Raum in möglichft günftiger Weife zurückwerfen.

Fig. 381.



Einfalllichtgitter mit Glasfchuppen von *Jul. Staehr* zu Berlin.

Unter günftigen Verhältniffen erreicht man hiernach mit den hier vorgeführten Anordnungen eine ganz gute Wirkung; allerdings betragen die Koften folcher Glaskörper das 5 bis 6fache derjenigen einer Verglafung mit Rohglasplatten. Auch ift bei den Glaslinfen zu beachten, dafs fie unter Umftänden wie Brenngläfer wirken, dafs alfo unmittelbar unter denfelben lagernde entzündbare Stoffe gefährdet werden können.

Eine lichtverftärkende Wirkung der Prismen und Linfen tritt naturgemäfs nicht ein; im Gegenteil, ein Teil des Lichtes geht ftets durch Auffaugung und Zerftreuung verloren, und zwar umfomehr, je unreiner das Glas ift. Deshalb ift es geboten, zu den Prismen nur das reinfte, wafferklare Glas ohne Bläschen, Körner etc. zu verwenden.

Man prüft ein Prisma, indem man es gegen das Licht hält. Zeigt es fich von einer dunkeln Zone umgeben, die nach der Mitte fchwächer wird, fo ift es minderwertig; zeigt es fich rundum hell, fo ift es gut. Dann betrachte man die Oberfläche. Wirft letztere das Licht rein zurück, d. h. mit ungewiffem, welligem Schimmer, fo ift das Prisma gut hergeftellt; erfcheint das zurückgeworfene Licht aber matt und ungleich hell, fo ift das Prisma weniger gut.

Sollen die mit Hilfe von Prismen oder Linfen konftruierten Deckenlichter begangen werden, fo mufs man, da die Glaskörper an ihrer Oberfläche ziemlich glatt find, wie fchon mehrfach gefagt, dafür forgen, dafs darüber fchreitende Perfonen

nicht ausgleiten. Deshalb verſieht man entweder die Glaskörper an ihrer Oberfläche mit einer Rieſung oder mit Warzen, wodurch ſie allerdings in ihrer Lichtdurchläſſigkeit beeinträchtigt werden, oder man gieſst an die Oberkante der Stege des eiſernen Roſtes Zäpfchen etc. (Fig. 370 u. 371) an, wodurch das Ausgleiten verhindert wird. Die Linſen in Fig. 379 u. 380 ragen über das Eiſengerippe hervor, ſo daſs das Ausgleiten nicht in zu hohem Maſse zu befürchten iſt; um jedoch das Glas vor Beſchädigung zu ſchützen und dem Fuſsgänger einen ganz ſicheren Halt zu gewähren, ſind an den Roſt dreikantige Stollen oder Warzen angegoſſen.

Fig. 382.

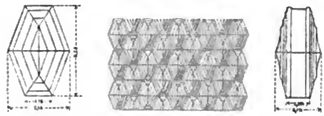
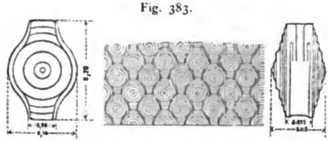


Fig. 383.



Glashohlſteine der Glashüttenwerke »Adlerhütten« zu Penzig. 1/10 w. Gr.

297. Decken aus Glasbauſteinen. Seit einigen Jahren erzeugen die Glashüttenwerke »Adlerhütten, *H. Mayer & Co.*« zu Penzig in Schleſien ſog. Glasbauſteine oder Glashohlſteine, Syſtem *Falconnier*, welche ſich wie andere Steine mit Hilfe von Mörtel zu gewölbten Decken vereinigen laſſen; die Herſtellung geſchieht genau ſo über einer Verſchalung, wie bei einem flachen Backſteingewölbe. Decken aus ſolchem Material empfehlen ſich namentlich dort, wo möglichſt viel zerſtreutes Licht in die Räume eingeführt werden ſoll, z. B. für groſse und tiefe Arbeitsſäle, für Künſtlerarbeitsſtätten, Wintergärten und andere Pflanzenhäuſer, Operationsſäle etc., auch dann, wenn eine thunlichſt gleichmäſsige Temperatur gewünſcht wird, wie in Eisfabriken, Schlächtereien etc.

Dieſe Glasbauſteine ſind linſenartige Hohlkörper aus Glasmaſſe und werden ſowohl als ganze, wie auch als Dreiviertel-, Halbe- und Viertelſteine hergeſtellt; ſie werden halbweiſs, weiſs, milchweiſs und in ſatten, dunkeln Farben erzeugt. Fig. 382 zeigt Glasbauſteine in Sechseckform, die zuſammengefügt einer Bienenwabe ähnlich ſind; in Fig. 383 ſind flaſchenförmige Glasſteine mit rundem Mittelteil dargeſtellt. Von ſolchen Glasbauſteinen ſind für 1 qm Decke ca. 60 Stück notwendig, von denen jeder ca. 700 g wiegt. Als Mörtel werden Zement- und Gipsmörtel verwendet.

Die Glashohlſteine ſind infolge ihrer eigenartigen Form bei ſehr kräftiger Wandung äuſserſt widerſtandsfähig und nur ſchwer zu zerſtören; die im Inneren eingeſchloſſene Luft bildet auch bei ſtarken Temperaturunterſchieden eine gute Iſolierung, ſo daſs ein Schwitzen nicht eintritt.

---

22. Kapitel.

Nicht begehbare Deckenlichter und verglaſte Decken.

a) Allgemeines.

298. Ueberſicht. Im nachſtehenden handelt es ſich ſowohl um kleinere verglaſte Lichtflächen, welche in Balken- oder gewölbte Decken eingefügt ſind, als auch um Deckenkonſtruktionen, welche in ihrer ganzen Ausdehnung (von umrahmenden Flächenſtreifen, Hohlkehlen u. dergl. etwa abgeſehen) verglaſt ſind.

Die gröſsten verglaſten Decken dieſer Art ſind wohl diejenigen, welche die Bedeckung gröſserer Binnenhöfe (glasbedeckte Lichthöfe) bilden und die Benutzung der letzteren als Innenräume ermöglichen. Von bedeutenderer Ausdehnung ſind nicht ſelten die verglaſten Teile der Decken in den Deckenlichtſälen von Muſeen und Ausſtellungsgebäuden, ebenſo die Deckenlichter über Flurhallen, Treppenhäuſern etc.

Ueber den hier in Frage kommenden Deckenlichtern und Glasdecken befindet ſich meiſtens ein geſchloſſener Raum; nur ſehr ſelten münden dieſelben in das Freie. Aus dem über der Lichtfläche vorhandenen Raume fallen die Lichtſtrahlen in den darunter befindlichen Raum ein; um dies zu ermöglichen, iſt in den häufigſten Fällen über dem Deckenlicht, bezw. über der verglaſten Decke ein verglaſtes Dach angeordnet, ſo daſs man die i n n e r e G l a s d e c k e und das ä u ſ s e r e D a c h l i c h t[46]) zu unterſcheiden hat. Verhältnismäſsig ſelten wird der Raum über der Glasdecke durch Seitenlicht erhellt; eine ausreichende Beleuchtung des Raumes unter derſelben wird alsdann nur ſchwer zu erzielen ſein.

Die im nachfolgenden zu beſprechenden verglaſten Lichtflächen ſind ausdrücklich als »nicht begehbar« bezeichnet worden; infolge deſſen muſs in allen Fällen, wo es möglich iſt, daſs Perſonen aus Unvorſichtigkeit etc. auf eine ſolche Lichtfläche geraten können, durch Einfriedigung oder anders geartete Verwahrung Vorſorge getroffen werden, damit niemand das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke betreten kann.

299. Form.

Die in Rede ſtehenden Deckenlichter und verglaſten Decken haben in den allermeiſten Fällen die rechteckige Grundform; Deckenlichter, welche in Kuppelgewölbe eingefügt ſind, ſolche über Treppenhäuſern etc. erhalten wohl auch kreisförmige, halbkreisförmige oder nach den beſonderen Verhältniſſen auch noch andere Grundriſsgeſtalten.

Konſtruktion und Ausführung geſtalten ſich am einfachſten, wenn man das Deckenlicht, bezw. die verglaſte Decke eine einzige wagrechte Ebene bilden läſst. Indes wird man nur bei Deckenlichtern von geringer Ausdehnung die Trageſproſſen völlig wagrecht anordnen; meiſt werden ſie ſchwach anſteigend ausgeführt, weil dadurch einerſeits ein beſſeres Ausſehen erreicht, andererſeits auch vermieden wird, daſs infolge des unvermeidlichen Sackens der Sproſſen die Glasfläche eine nach unten gewölbte Form erhält.

Man hat aber die Glasflächen auch ſtärker anſteigen laſſen, ſo daſs das Deckenlicht, bezw. die Glasdecke die Form eines flachen Sattel- oder Zeltdaches, wohl auch die Geſtalt einer abgeſtumpften Pyramide erhalten hat; ſelbſt nach oben gekrümmte Querſchnittsformen ſind ausgeführt worden. Im nachſtehenden werden mehrfach Beiſpiele ſolcher gegliederter Glasdecken vorgeführt werden.

300. Reinigung und Schutz der Glasflächen.

Ueber den verglaſten Lichtflächen lagern ſich Staub und andere Verunreinigungen ab, weshalb dafür geſorgt werden muſs, daſs eine zeitweilige Säuberung der Glasſcheiben ſtattfinden kann. Bei Deckenlichtern von geringerer Ausdehnung iſt meiſt keine beſondere Vorkehrung zu treffen, weil man die Reinigung in der Regel von ihrem Umfange aus vornehmen kann; demnach wird nur Vorkehrung zu treffen ſein, daſs die das Deckenlicht begrenzenden Streifen der Decke betreten werden können.

Bei gröſseren Deckenlichtern und Glasdecken hingegen hat man mehrfach Einrichtungen getroffen, durch welche das Begehen der verglaſten Flächen, alſo auch

46) Häufig werden die Bezeichnungen »inneres Oberlicht« und »äuſseres Oberlicht« gebraucht. Wie ſchon bemerkt wurde, wird im vorliegenden nur von erſterem, nicht aber von letzterem die Rede ſein.

das Vornehmen der Reinigung, von Ausbefferungen etc. möglich ift. Laufftege, wie fie bei Dachlichtern vorkommen[17]), find verhältnismäfsig felten zur Anwendung gebracht worden; meift werden einzelne hierzu geeignete Tragefproffen oder andere hauptfächlich tragende Konftruktionsteile fo ftark ausgeführt, dafs ein Laufbrett über diefelben gelegt werden und ein Arbeiter darauf treten kann.

Bisweilen hat man fefte oder bewegliche Leitern zu gleichem Zwecke angeordnet; letztere laufen mit ihren Rollen in einem Abftande von ca. 20 bis 30 cm über der Glasfläche auf Schienen, welche an den aufrechten Stegen hierzu geeigneter Tragefproffen angebracht find. Auch Rollwagen, deren Räder gleichfalls auf Schienengleifen fahren und die durch ein Triebwerk in Bewegung gefetzt werden, find angewendet worden.

Bei einigen Ausführungen erfolgt die Säuberung der Glasflächen von Staub und Schmutz durch Abfpülen mit Waffer; in einiger Höhe über der Glasdecke, z. B. längs des Firftes des über derfelben befindlichen Daches etc., ift zu diefem Ende ein Wafferrohr angeordnet, oder es wird eine einfache, an die Wafferleitung angefchraubte Schlauchfpritze in Anwendung gebracht. Es empfiehlt fich in diefem Falle, die Glasdecke ohne Querfproffen zu konftruieren und derfelben ein entfprechendes Gefälle zu geben; das Spülwaffer wird am beften nach einer kleinen Traufrinne mit Abfallrohr geleitet.

Wenn die Möglichkeit vorliegt, dafs von oben aus fchwerere Gegenftände (z. B. Bruchftücke von dem Dachlicht angehörigen Glasfcheiben etc.) auf die verglaften Deckenflächen fallen können, wodurch der Bruch einzelner ihrer Glasfcheiben hervorgebracht werden könnte, fo ift die Gefahr vorhanden, dafs die im darunter befindlichen Raume fich aufhaltenden Perfonen etc. befchädigt werden. In folchen Fällen mufs über der verglaften Deckenfläche ein Gitterwerk oder ein Drahtnetz angeordnet werden, welches die herabfallenden Gegenftände aufzuhalten hat. Dasfelbe bringt allerdings den Mifsftand mit fich, dafs es nicht allein den Lichteinfall etwas beeinträchtigt, fondern auch die Reinigung der Glasflächen erfchwert. Letzterem Uebelftande liefse fich wohl dadurch abhelfen, dafs man das fchützende Drahtnetz unterhalb der verglaften Deckenfläche anbringt; allein das Ausfehen der letzteren würde dadurch unfchön werden. Sind es fonach nur zerbrochene Glasfcheiben des über der Decke befindlichen Dachlichtes, welche gefürchtet werden, fo wähle man am beften für letzteres eine Glasforte, die das Zerbrechen fo gut wie ausfchliefst: Rohglas von genügender Dicke, Prefshartglas oder, noch beffer, Drahtglas.

301. Schweifswafferbildung.

Wenn wärmere, ftark angefeuchtete Luft die verglaften Teile der Decke an der Unterfeite trifft, fo wird fich an denfelben, insbefondere an den die Wärme gut leitenden metallenen Konftruktionsteilen, Waffer in Tropfenform niederfchlagen; diefes Schweifs-, Schwitz-, Befchlag- oder Kondenfationswaffer darf weder die Erhellung beeinträchtigen, noch von der Decke herabtropfen. Die Menge des fich niederfchlagenden Waffers hängt einerfeits von dem Mafse ab, in welchem der Raum unter der Decke mit feuchtwarmer Luft gefullt fein wird, andererfeits davon, ob der Raum zwifchen innerer Glasdecke und äufserem Dachlicht auf die Dauer genügend warm gehalten werden kann, fo dafs die verglaften Lichtflächen nicht zu ftark abgekühlt werden.

Erhebt fich über dem Deckenlicht ein feitlich abgefchloffener Lichtfchacht von genügender Höhe, fo wird die auf erfteres ausgeübte Abkühlung nur eine fehr geringe,

[17]) Siehe Teil III, Band 2, Heft 5 (Abt. III, Abfchn. 2, F, Kap. 42) diefes »Handbuches«.

und Vorkehrungen zur Abführung des Schweifswaffers werden alsdann kaum notwendig fein. Würde man den Raum zwifchen Decken- und Dachlicht völlig luftdicht abfchliefsen können, fo wäre jedem Befchlagen des erfteren vorgebeugt. Sobald jedoch über den verglaften Lichtflächen ein derartiger Lichtfchacht fehlt, fo wird zur kälteren Jahreszeit eine ftärkere Abkühlung derfelben kaum ausbleiben, insbefondere wenn die das Dachlicht umgebenden Dachflächen eine nicht zu dichte Eindeckung, namentlich eine folche ohne Bretterverfchalung oder gar eine Metalldeckung, erhalten. Im letzteren Falle ift demnach ein bedeutenderes Befchlagen der Glasdecke zu erwarten, fobald die Luft unter derfelben warm und ftärker angefeuchtet ift, und bei der Konftruktion mufs hierauf Rückficht genommen werden.

In hierzu geeigneten Fällen befteht ein gut wirkfames Mittel gegen die Schweifswafferbildung darin, dafs man die Abluftkanäle des unter der Glasdecke befindlichen Raumes, bezw. der benachbarten Räume in den Zwifchenraum zwifchen Decken- und Dachlicht leitet; da die Abluft immer warm fein wird, fo werden die Glasflächen auch von oben erwärmt und das Entftehen von Schweifswaffer dadurch vermieden.

Bisweilen hat man die Bildung von Schweifswaffer an der Unterfeite der Glasdecke dadurch zu verhüten verfucht, dafs man, ähnlich wie bei Schaufenftern, eine Luftunterfpülung derfelben bewirkt hat. Man hat z. B. zwifchen der Unterkante der Glasdecke und der fie umfchliefsenden Umrahmung einen freien Zwifchenraum von einigen Centimetern Breite gelaffen oder einen durchbrochenen Fries angeordnet; alsdann herrfcht ober- und unterhalb der Glasfläche eine fortwährende Luftbewegung; die Unterfeite derfelben wird abgekühlt, und das Befchlagen der letzteren wird nicht eintreten. Eine folche Unterfpülung ift indes nicht leicht durchzuführen, und in nicht feltenen Fällen ift fie in Rückficht auf die Benutzung des unter derfelben befindlichen Raumes ausgefchloffen. Alsdann ift für Abführung des Schweifswaffers Sorge zu tragen, was meift dadurch gefchieht, dafs man die Sproffen mit geeigneten Schweifswafferrinnen verfieht; doch kann dies auch in der Weife bewirkt werden, dafs man das Deckenlicht über die Decke hinaushebt, um das Schweifswaffer über letztere hinaus ableiten zu können.

Der Zwifchenraum zwifchen verglafter Decken- und verglafter Dachfläche wird zur Sommerszeit durch die Sonnenftrahlen fehr ftark erwärmt; die Folge davon ift, dafs von der Glasdecke nach unten eine fehr bedeutende Wärmeftrahlung ausgeht, wodurch nicht felten im Raume unter der Glasdecke eine geradezu unerträgliche Hitze entfteht. Um einen folchen Zuftand zu verhüten, bringe man in den Dachflächen geeignete Oeffnungen an, die man im Winter fchliefsen und durch welche man im Sommer den erforderlichen Luftumlauf hervorbringen kann. In England werden zu gleichem Zwecke die Dachlichter alljährlich mit weifser Farbe angeftrichen. Ob durch Anwendung des von *Zsigmondy* erfundenen fog. Schirmglafes (für Wärmeftrahlen undurchläffiges Glas) dem in Rede ftehenden Uebelftande wird abgeholfen werden können, bleibt abzuwarten [48]). 302. Wärmeftrahlung

Dafs bei jeder, auf anderweitigem Wege erzielten Erwärmung der verglaften Deckenflächen von oben der gleiche Erfolg erzielt werden kann, ift felbftverftändlich.

Die Lichtfchächte, welche fich über Deckenlichtern erheben, haben ähnlich wie die zur Lüftung, zur Aufnahme von Fahrftühlen etc. dienenden Schächte den 303. Deckenlichtfchächte.

[48]) Siehe: Polyt. Journ., Bd. 287, S. 17, 68, 108 — ferner: Journ. f. Gasb. u. Waff. 1893. S. 574. 592, 610 — endlich: Deutfche Bauz. 1894, S. 161.

Nachteil, daſs ſie bei ausbrechender Feuersgefahr die Verbreitung des Feuers in hohem Grade begünſtigen. Deshalb iſt eine thunlichſt feuerſichere Umſchlieſsung derſelben zur Ausführung zu bringen.

Iſt eine unmittelbare Unterſtützung der Umfaſſungswände durch Mauern oder Träger zu ermöglichen, ſo ſind dieſelben maſſiv herzuſtellen; ſonſt muſs man ſich mit einer Ausführung in Drahtputz, mit *Rabitz*-Wänden oder einer ähnlichen, als feuerſicher anzuerkennenden Konſtruktion begnügen. Die Umfaſſungswände ſind mindeſtens 20 cm über die Dachfläche zu führen und dürfen mit Fenſtern zur Erhellung der Dachbodenräume nicht verſehen werden.

304. Sproſſen. Für die Sproſſen der verglaſten Lichtflächen werden meiſt paſſende Formeiſen gewählt. Hierzu eignen ſich ſowohl hochkantig geſtellte Flacheiſen, **T**-, **I**- und **+**-Eiſen, als auch die bekannten Fenſter- oder Sproſſeneiſen (Fig. 384 u. 385 [49]).

Fig. 384.

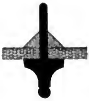


Fig. 385 [49]).

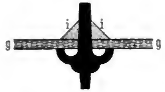


Fig. 386.



Fig. 387 [50]).

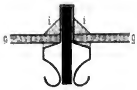
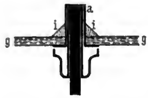


Fig. 388 [50]).



Die in die Auflagerflächen der letzteren bisweilen eingewalzten Rinnen können etwa von oben kommendes Waſſer aufnehmen; doch erfüllen ſie nicht immer dieſen Zweck, weil ſie ſich durch Staub und Schmutz bald verſetzen. Für die Befeſtigung des Kittauflagers ſind ſolche Rinnen indes ganz zweckmäſsig. Sollen hochkantig geſtellte Flacheiſen in Verwendung kommen, ſo müſſen durch Kappen aus Zink-, Kupfer- oder Bleiblech die erforderlichen Auflagerflächen geſchaffen werden (Fig. 387 u. 388 [50]); dieſe Blechverkleidung kann auch dazu benutzt werden, etwa notwendige Schweiſswaſſerrinnen zu bilden.

Auſser eiſernen Sproſſen kommen auch ſolche aus Zink und aus Meſſing, ſelbſt ſolche aus Holz zur Anwendung. Zinkſproſſen haben ſich nicht bewährt, weil dieſes Metall eine nur geringe Tragfähigkeit beſitzt und bei Temperaturſchwankungen ſehr bedeutende Längenänderungen zeigt; beſſer ſind Sproſſen aus Zink mit Eiſenkern.

Die Haupttrageſproſſen, welche in 50 bis 60 cm Abſtand verlegt werden, werden am beſten aus Formeiſen hergeſtellt; für die ſie unterteilenden Zwiſchenſproſſen kann man unter Umſtänden auch Meſſing- und Holzteile benutzen (Fig. 389 [51]).

Anders geformte Sproſſen, namentlich die ſog. Rinnenſproſſen, kommen hauptſächlich für verglaſte Dächer und Dachlichter, ſehr ſelten für Glasdecken und Decken-

[49]) Siehe auch: Teil I, Band 1, erſte Hälfte (Art. 280, S. 192, unter β (2. Aufl.: Art. 268, S. 241, unter b)) dieſes »Handbuches«.

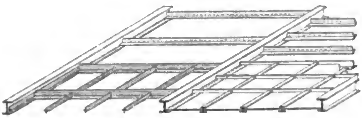
[50]) Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 245.

[51]) Fakſ.-Repr. nach: Baukunde der Architekten. Bd. I, Teil 1. Berlin 1890. S. 568.

lichter zur Verwendung. In dieser Beziehung sowohl, als auch bezüglich mancher anderer Einzelheiten sei auf das in Teil III, Band 3, Heft 5 (Abt. III, Abschn. 2, F, Kap. 39: Verglaste Dächer und Dachlichter) dieses »Handbuches« Vorgeführte verwiesen.

Die Anordnung der Sprossen in einem rechteckig geformten Deckenlicht gewöhnlicher Art erfolgt nach Art eines eisernen Rostes, wie dies Fig. 389 [51]) zeigt. Bei anders gestalteten Deckenlichtern ist man in der Regel bestrebt, eine der Grundrissform angepasste, thunlichst regelmässige Sprossenverteilung zu erzielen. Soll in der Verglasung ein geometrisches Muster erscheinen, so ist letzteres für die Sprossenanordnung massgebend.

Fig. 389 [51]).



Während bei der Berechnung von verglasten Dächern und Dachlichtern ausser dem Eigengewicht der Konstruktion auch die Beanspruchung durch Winddruck und Schneelast zu berücksichtigen ist, kommen bei Glasdecken und Deckenlichtern vielfach nur die vom Eigengewicht herrührenden Beanspruchungen in Frage, so dass die Querschnitte der Haupttragesprossen hiernach zu ermitteln sind [52]). Wenn indes bei grösseren Glasdächern die Möglichkeit geboten sein soll, dass Arbeiter unmittelbar über den Glasflächen Ausbesserungen, Reinigungen etc. vornehmen können, so muss bei Berechnung der Tragkonstruktion das Gewicht dieser Arbeiter, der von ihnen mitgeführten Geräte etc. mitberücksichtigt werden.

Fig. 390 [53]).



Die Glasscheiben werden meist in Kittfalze oder in Bleifassungen verlegt. 305. Verglasung.
Bei Sprossen aus ⊥- und +-Eisen und solchen aus Fenstereisen ist, wie Fig. 384 u. 385 zeigen, das Einbetten in Kitt *i* ohne weiteres möglich. Besteht die Sprosse aus hochkantig gestelltem Flacheisen, so bietet entweder der Zinkmantel die Möglichkeit dar, die Glasscheiben in Kitt zu verlegen (Fig. 387), oder man setzt auf das Flacheisen zunächst eine Kappe *a* (Fig. 388) auf, die man am besten aus verbleitem Eisenblech herstellt, und auf den wagrechten Lappen dieser Kappe können die Glasscheiben *g* in Kitt *i* gelagert werden.

Auf der Oberseite von ⊥- und I-Eisen lassen sich Kittfalze nicht in genügend einfacher Weise bilden; auch geht bei letzteren infolge von Bewegungen die erforderliche Dichtigkeit nicht selten verloren, und wenn das Eindringen von Wasser zu befürchten ist, so schützt man wohl auch den Kittfalz durch Deckleisten von Holz, Blei oder Zink. Diese Missstände sind bei Bleifassungen nicht vorhanden. Letztere werden am einfachsten durch Verwendung sog. Bleirippen hergestellt, wie sie z. B. *Grover & Co.* in Längen von ca. 5,5 cm erzeugen. Fig. 390 *a* [53]) stellt eine solche Rippe ohne Glaseinlage dar; dieselbe wird auf einer

[52]) Die einschlägigen Formen und Zahlenwerte sind an der eben genannten Stelle des »Handbuches der Architektur« zu finden.

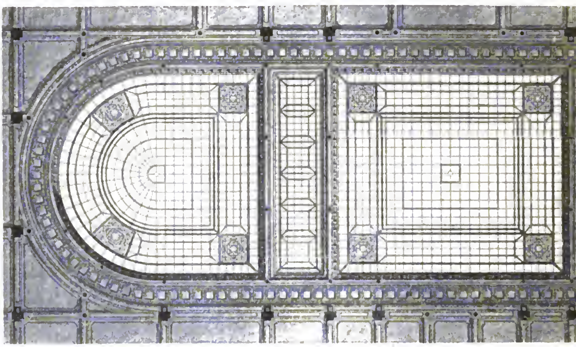
[53]) Nach: Deutsche Bauz. 1887, S. 417.

Holzunterlage mit Kupfernägeln befeftigt und nach dem Einlegen der Glasfcheibe entfprechend umgebogen, wodurch ein dichter Anfchlufs entfteht. Fig. 391 *b* zeigt die Verwendung der Bleirippen für hölzerne Sproffen und Fig. 386 *c* für folche aus **T**- und **I**-Eifen.

In Fig. 386 ift die von *Mackenzie* angegebene Bleifaffung dargeftellt; durch diefelbe wird der gröfste Teil des Fenftereifens eingehüllt, und auch die beiden Rinnen find mit Blei ausgefüttert.

Bleifaffungen gewähren noch den weiteren Vorteil, dafs fie nicht eine unveränderlich fefte Verbindung zwifchen Glasfcheibe und Sproffe herftellen, fo dafs bei ftarken Temperaturänderungen eine gewiffe Beweglichkeit der einzelnen Konftruktionsteile möglich ift und die Glastafeln vor Bruch bewahrt find; auch fei erwähnt, dafs

Fig. 391.



Von den *Magafins du Bon Marché* zu Paris[84]).

$^1/_{300}$ w. Gr.

die Bildung von Schweifswaffer faft ganz vermieden ift, da fich die Temperatur innen und aufsen nahezu vollftändig ausgleicht.

Grofse Glastafeln hat man wohl auch ganz frei auf die Tragefproffen gelagert; Stofsfugen werden durch zwifchengelegte, den Fenfterbleien ähnliche, gezogene Meffingftreifen gedichtet.

Die Verglafung wird entweder mit gewöhnlichem, völlig durchfichtigem Glafe oder, wenn man die über der Glasdecke befindlichen Räume oder Konftruktionsteile nicht fichtbar werden laffen will, mit matt gefchliffenem Glafe bewirkt; bisweilen verfieht man das letztere wohl auch mit einem dem Auge angenehmen Mufter. Wenn die Scheiben nicht zu grofs find, fo genügt in der Regel Fenfterglasftärke.

Hat man die Abficht, gewiffe Stimmungen oder Lichtwirkungen zu erzielen, fo verwendet man farbiges Glas; bei reich ausgeftatteten Glasdecken werden Gläfer in verfchiedenen Farben gewählt und zu einem nach geometrifchem Mufter oder in

84) Fakf.-Repr. nach: *Encyclopédie d'arch.* 1880, Pl. 653.

ornamentaler Weife geordneten, harmonifch wirkenden Ganzen zufammengefugt. Für die Ausbildung derartiger farbenreicher Glasdecken fei an diefer Stelle in Fig. 391 [54]) ein einfchlägiges Beifpiel hinzugefügt.

Im Gebäude des *Comptoir d'escompte* zu Paris hat *Corroyer* in der *Salle des titres* die einzelnen Felder der Glasdecke, welche durch die Längs- und Querfproffen gebildet werden, nicht durch in gleicher Ebene gelegene Glasfcheiben ausgefüllt, fondern die letzteren nach Art einer nach unten hängenden abgeftumpften Pyramide angeordnet [55]).

Um Schweifswafferbildung zu vermeiden, hat man in einigen Fällen das Deckenlicht mit doppelter Verglafung verfehen, welche eine völlig abgefchloffene Luftfchicht einfchliefst; letztere verhütet die Wirkungen einer von oben eintretenden Abkühlung.

306. Einteilung.

Die konftruktive Durchbildung von verglaften Decken und Deckenlichtern ift in ziemlich verfchiedener Weife ausgeführt worden. Im nachftehenden follen diefelben unterfchieden werden in:

1) folche, welche in eine tragende Deckenkonftruktion eingefügt find;

2) folche, welche an einem Dachftuhl aufgehängt oder in anderer Weife mit demfelben verbunden find, und

3) folche, welche durch befondere Tragkonftruktionen geftützt werden.

Nicht alle einfchlägigen Ausführungen laffen fich in eine diefer drei Gruppen einreihen, da fie nicht felten eine Vereinigung von zwei verfchiedenen Anordnungen darftellen.

b) In tragende Deckenkonftruktionen eingefügte Deckenlichter.

307. Deckenlichter in Balkendecken

Wenn ein Deckenlicht in eine tragende Deckenkonftruktion eingefügt oder über einem Raume eine durchweg verglafte Decke hergeftellt werden foll, fo ift ftets ein Rahmen erforderlich, der die verglaften Deckenflächen umfafst und welcher dem aus den Tragefproffen gebildeten Roft als Auflager dient. Die Anordnung ift verfchieden, je nachdem das Deckenlicht in eine Balken- oder in eine gewölbte Decke eingefetzt wird.

Auch bei den in Balkendecken eingefügten Deckenlichtern herrfcht bezüglich der konftruktiven Anordnung ziemliche Mannigfaltigkeit; die bemerkenswerteften Herftellungsweifen feien im folgenden vorgeführt.

α) Ift das Deckenlicht in eine hölzerne Balkendecke einzufetzen, fo wird, obwohl felten, der dasfelbe umfaffende Rahmen in Holz hergeftellt. Fig. 393 [56]) zeigt eine folche Ausführung.

Die Rahmenhölzer find feitlich an die Deckenbalken angefchraubt, und damit die ganze Konftruktion ein leichteres Ausfehen gewinnt, find die mittleren Deckenbalken fchwächer gehalten und mittels Hängefäulen mit dem Dachftuhl verbunden.

β) Viel häufiger wird der Rahmen aus Formeifen hergeftellt, und es eignen hierzu fich insbefondere I-Eifen. Sind die Grundrifsabmeffungen des Deckenlichtes fo grofse, dafs der aus den Tragefproffen gebildete Roft fich nicht frei trägt, fo werden, wie Fig. 392 zeigt, ein oder auch mehrere Zwifchenträger angeordnet.

In Fig. 392 ift der aus I-Eifen gebildete Rahmen auf die Holzbalken der tragenden Decke gelegt; auf diefem Rahmen, fowie auf einem eingefchalteten Zwifchenträger ruht der aus Sproffeneifen zufammengefetzte Roft, in den die eingekitteten Glastafeln eingefügt find.

---

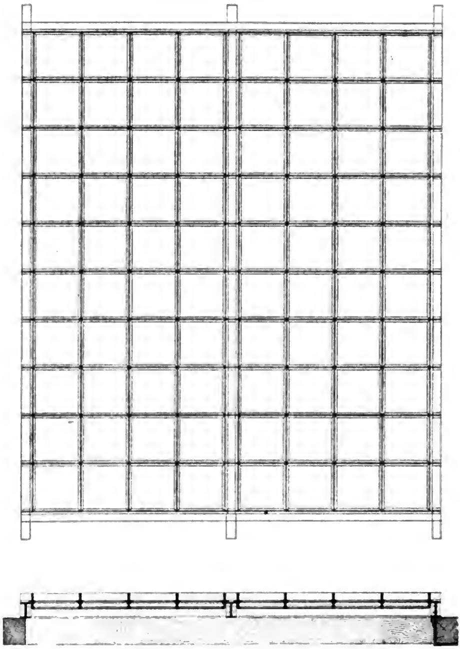
55) Siehe: Fortfchritte auf dem Gebiete der Architektur, Heft 2, S. 21 u. Fig. 38 (S. 23).

56) Nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 14.

γ) Eiferne Rahmen ähnlicher Art werden auch verwendet, wenn über einem Raume eine durchwegs verglafte Decke auszuführen ift. Durch Fig. 395 ift eine derartige Anordnung veranfchaulicht.

Die tragenden I-Eifen find hier von einer Längsmauer zur anderen geftreckt und an den Enden eingemauert; an diefen Längsmauern find eingefchobene I-Eifenftücke verlegt und mit den erftgedachten I-Trägern durch Winkellafchen verbunden.

Fig. 392.

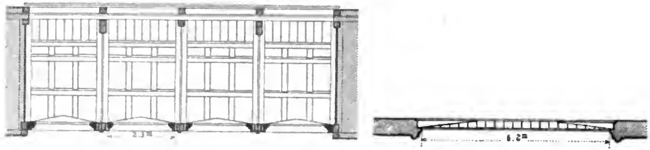


Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.
$^1/_{50}$ w. Gr.

306. Deckenlichter mit Hohlkehlen

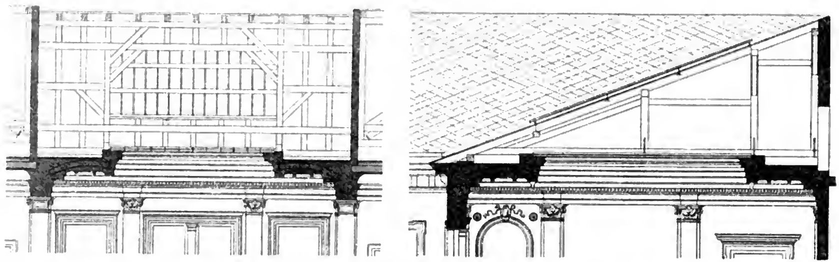
Gröfsere, von oben zu erhellende Räume erhalten nicht felten ein zentral angeordnetes Deckenlicht, deffen Umrahmung in der Weife gebildet wird, dafs man der Länge und der Quere nach je zwei fchmiedeeiferne I-Träger (Walzbalken oder bei gröfseren Abmeffungen Blechträger) verlegt; auf letzteren ruht das Sproffenwerk des Deckenlichtes. Der Zwifchenraum zwifchen jedem diefer Träger und der nächftgelegenen Umfaffungsmauer wird alsdann durch ein zwifchengefpanntes Kappen-

Fig. 393[56]).



$1/_{150}$ w. Gr.

Fig. 394.



Von der Kunftgewerbefchule des öfterreichifchen Mufeums zu Wien[57]).

$1/_{125}$ w. Gr.

Fig. 395.



Vom Empfangsgebäude auf dem Hauptbahnhof zu Hannover.

$^{1}/_{50}$ w. Gr.

gewölbe ausgefüllt, welches ebenso die in Stuck etc. auszubildende Decke trägt, wie auch unter Umständen den Fußboden des darüber gelegenen Raumes.

Fig. 396.



Vom römischen Bad am Praterstern zu Wien [58]).

Fig. 397.

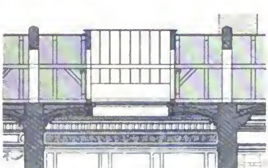
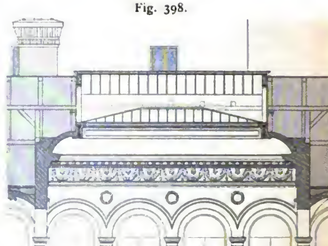


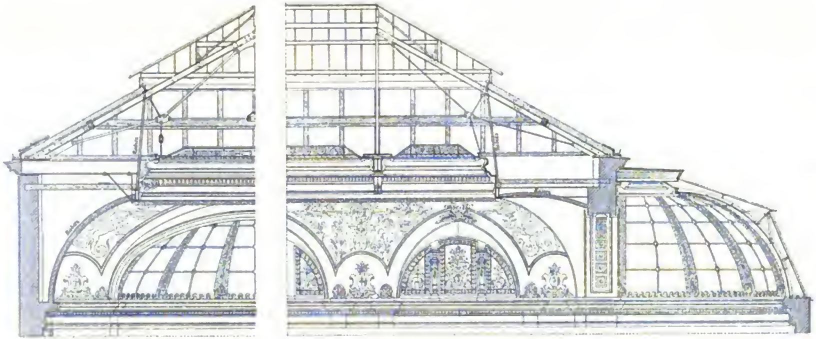
Fig. 398.



Vom römischen Bad am Praterstern zu Wien [59]).

$^{1}/_{150}$ w. Gr.

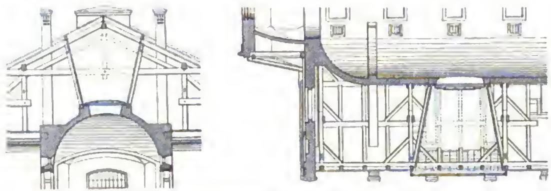
Fig. 399.



$^1/_{100}$ w. Gr.

Vom Hôtel Royal zu Hannover[60]).

Fig. 400.

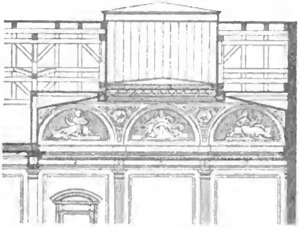


$^1/_{200}$ w. Gr.

Von der Strafanſtalt am Plötzensee bei Berlin[62]).

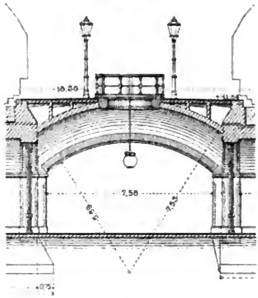
In verhältnismäfsig feltenen Fällen liegen die beiden Kämpferlinien diefer Gewölbe in gleicher oder doch nahezu gleicher Höhe (Fig. 394 [57]); viel häufiger kommt es vor, dafs diefelben von den I-Trägern aus nach den Umfaffungsmauern zu erheblich abfallen und alsdann fog. Deckenhohlkehlen oder Vouten bilden (Fig. 396 [58]); ja es fehlt nicht an Beifpielen, wo fich diefe Hohlkehlen mit Stichkappen an die Rahmenträger anfchliefsen. Würde man nun diefe Hohlkehlen als wirkliches Spiegelgewölbe konftruieren, fo hätte diefes auch die Laft der Rahmenträger

Fig. 401.



Vom Realgymnafium zu Karlsruhe [61]).

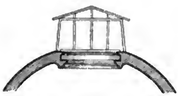
Fig. 402.



Von der Halteftelle Zoologifcher Garten der Berliner Stadteifenbahn [63]).

1/200 w. Gr.

Fig. 403.



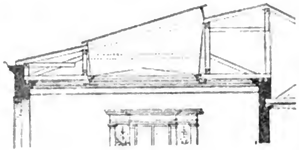
1/200 w. Gr.

aufzunehmen, und die gefamte Konftruktion wäre erft im nächftfolgenden Artikel (bei den in gewölbte Decken eingefügten Deckenlichtern) zu befprechen. Um jedoch das für ein Spiegelgewölbe erforderliche kräftige Widerlager zu umgehen, ift es vorteilhafter und wird meiftens auch fo ausgeführt, dafs man die Rahmenträger des Deckenlichtes bis auf die Umfaffungsmauern des betreffenden Raumes überftreckt und diefelben fo als felbftändige Träger geftaltet; fie bilden zugleich das eine Widerlager für das Hohlkehlengewölbe. In Fig. 397 [59]) ift eine flachere und in Fig. 398 [59]) eine fteilere Hohlkehle diefer Art dargeftellt; die eifernen Rahmenträger find nicht fichtbar, fondern mit Stuck umhüllt. In neuerer Zeit werden diefe Hohlkehlen auch aus *Rabitz*- oder aus *Monier*-Maffe hergeftellt (Fig. 399 [60]).

Anftatt die Hohlkehlen in der einen oder anderen Weife maffiv zu konftruieren, kann man diefelben auch nach dem fonft üblichen Verfahren aus Holz mit Putzverkleidung herftellen; ja man hat an deren Stelle bisweilen nur einen fchräg anfteigenden Deckenftreifen aus Holz zur Ausführung gebracht (Fig. 401 [61]).

[57]) Nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 73.
[58]) Nach ebendaf. 1874, Bl. 10.
[59]) Fakf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 8, 9.
[60]) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, Bl. 24.
[61]) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 57.

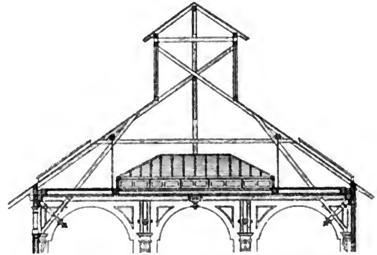
Fig. 404.



Vom phyfiologifchen Inftitut der Univerfität zu Heidelberg[64]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

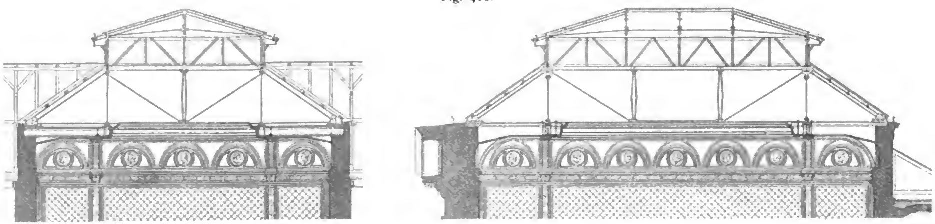
Fig. 405.



Von der Reitbahn von *Benjamin Roth Söhne* zu Frankfurt a. M.[65]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

Fig. 406.



Vom Lefefaal der Univerfitätsbibliothek zu Budapeft[67]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

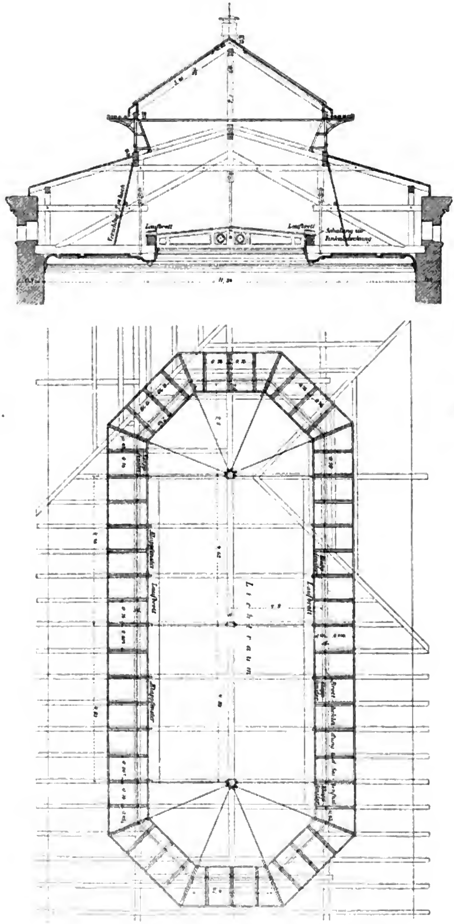


Fig. 407.

1/150 w. Gr.

Vom Lefefaal der Univerfitätsbibliothek zu Göttingen [66]).

Schliefslich fei auch noch auf das in Art. 110 (S. 196) über die Konftruktion und Berechnung von Spiegelgewölben in Eifen und Stein Gefagte verwiefen.

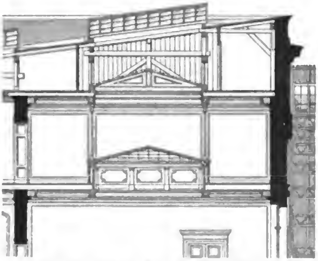
Soll in eine gewölbte Decke ein Deckenlicht eingefetzt werden, fo ift gleichfalls ein dasfelbe begrenzender eiferner Rahmen anzuordnen, in welchem der Sproffenroft lagert, der die Verglafung aufzunehmen hat. Bei Tonnengewölben wird das Deckenlicht im Grundrifs meift rechteckig, bei fphärifchen Gewölben meift kreisrund oder elliptifch geftaltet fein. 309. Deckenlichter in gewölbten Decken.

In Fig. 400 [62]) ift ein in ein Tonnengewölbe eingefügtes Deckenlicht, in Fig. 402 [63]) ein folches, das in eine Kugelkappe, und in Fig. 403 eines, welches in ein Kuppelgewölbe eingefetzt ift, dargeftellt.

c) An Dachftühlen hängende oder in anderer Weife damit verbundene Deckenlichter und Glasdecken.

Wenn ein Deckenlicht gröfsere Abmeffungen zu erhalten hat oder wenn die Decke, in welche dasfelbe einzufetzen ift, nicht kräftig genug konftruiert ift, um auch das Gewicht der verglaften Lichtflächenanlage mittragen zu können, fo findet fehr häufig das Aufhängen der letzteren an den darüber befindlichen Dachftuhl ftatt. In der Regel wird der das Deckenlicht begrenzende Rahmen mittels eiferner Hängeftangen mit einem dazu geeigneten Konftruktionsteil des Dachftuhles verbunden; bei gröfseren Anlagen werden aber auch Haupttragefproffen der verglaften Lichtflächen an das Dachwerk gehängt. 310. Deckenlichter an hölzernen Dachftühlen hangend.

Fig. 408.



Vom Empfangsgebäude der Berlin-Potsdam-Magdeburger Eifenbahn zu Berlin [68]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

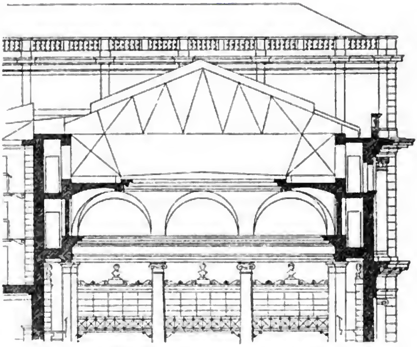
Wenn zunächft hölzerne Dachftühle, an denen Deckenlichter aufgehängt find, berückfichtigt werden follen, fo zeigt Fig. 404 [64]) eine fehr einfache Ausführung diefer Art. Aus der Abbildung ift leicht zu erfehen, wie der hölzerne Rahmen des Deckenlichtes mittels eiferner Hängeftangen an den Sparren des Dachftuhles hängt.

Eine etwas gröfsere einfchlägige Anlage ift durch Fig. 405 [65]) veranfchaulicht. Die eifernen Hängeftangen, welche den Deckenlichtrahmen tragen, find an den Pfetten befeftigt; über dem Dachfirft ift eine Laterne aufgefetzt, deren lotrechte Längswände verglaft find; die Dachflächen find mit Schiefer eingedeckt.

Ein weiteres Beifpiel ift in Fig. 407 [66]) dargeftellt. Hier find es die Stichbalken der hölzernen Balkendecke, welche mittels eiferner Stangen an die Dachkonftruktion aufgehängt find.

[62]) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1877, Bl. 58, 59.
[63]) Fakf.-Repr. nach ebendaf.
[64]) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1883, Bl. 24.
[65]) Fakf.-Repr. nach ebendaf., 1884, Bl. 24.
[66]) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1887, Bl. 11.
[67]) Fakf.-Repr. nach ebendaf. 1880, Bl. 28.
[68]) Fakf.-Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1877, Bl. 2.

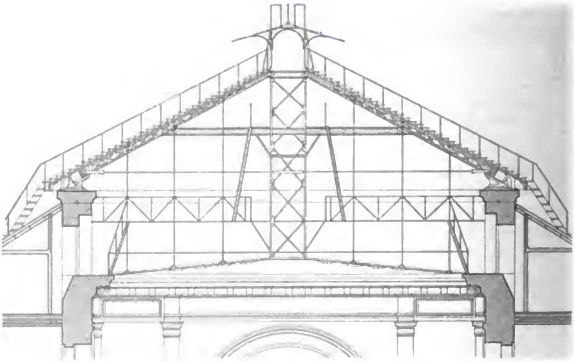
Fig. 409.



Von der Univerfitätsbibliothek zu Wien[69]).

$^1/_{250}$ w. Gr.

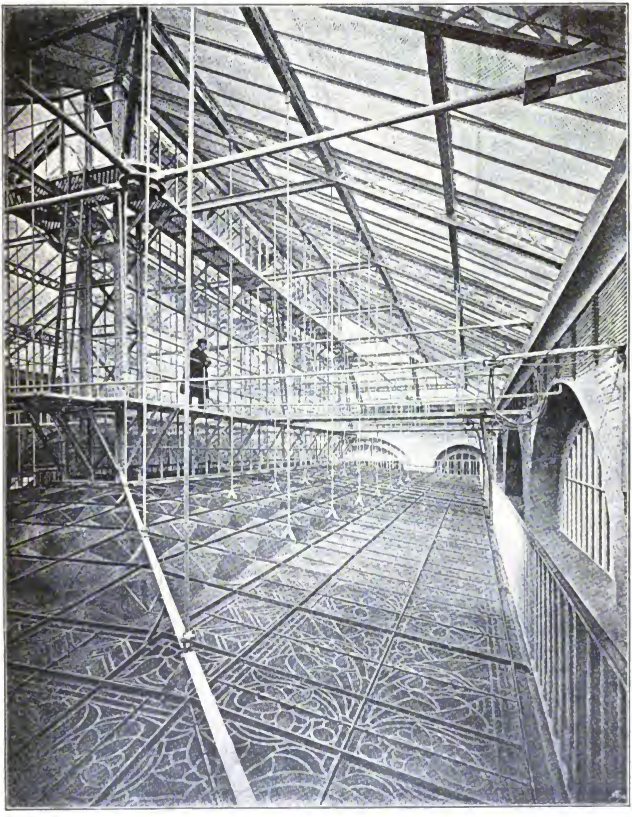
Fig. 410.



Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris[70]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

Fig. 411.

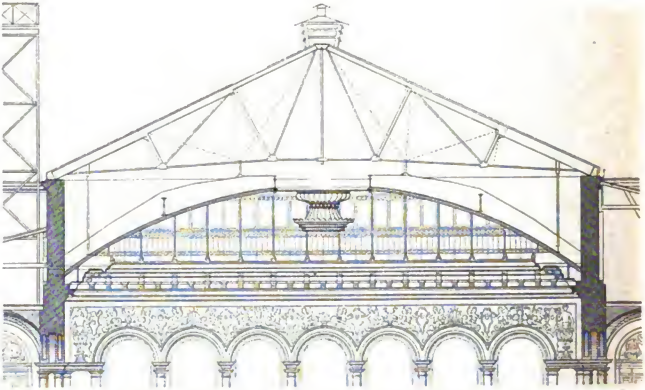


Von der *Salle des titres* im *Comptoir d'escompte* zu Paris [21]).

Diefes über einem grofsen Lefefaal angeordnete Deckenlicht wurde nachträglich zur Ausführung gebracht, nachdem bereits das Dach eingedeckt worden war. Die in der Dachfläche vorhandenen Kehlen gaben Veranlaffung zu den in Form von halben Achtecken hergeftellten Endigungen des Deckenlichtes. Der über letzterem fich erhebende, durch eine Bretterverfchalung gebildete Lichtfchacht hat behufs Durchlüftung Klappenfenfter erhalten; gleichem Zwecke dienen vier Luftfauger, welche auf der Zinkeindeckung des Dachfirftes auffitzen. Die Verglafung ift mit 8 mm dickem, mattiertem Glas bewirkt worden; für bequeme Reinigung der Scheiben wurden Laufbretter angeordnet.

Die durch Fig. 408 [68]) vorgeführte Ausführung unterfcheidet fich von den Konftruktionen in Fig. 405, 406 u. 407 hauptfächlich dadurch, dafs in zwei übereinander

Fig. 412.



Vom grofsen Lichthof der technifchen Hochfchule zu Berlin-Charlottenburg [72]).

$^1/_{200}$ w. Gr.

gelegenen Räumen Deckenlichter angeordnet find; beide find an dem darüber befindlichen hölzernen Dachftuhl aufgehängt, der auch das Dachlicht trägt.

Für das Aufhängen von Deckenlichtern und verglaften Decken eignen fich im allgemeinen eiferne Dachftühle mehr als folche aus Holz, weil bei erfteren die verfchiedenen Konftruktionsteile viel kleinere Querfchnittsabmeffungen haben und dadurch der Lichteinfall erheblich begünftigt wird; auch hat man bei eifernen Dachwerken in der Anordnung der hauptfächlich in Frage kommenden Konftruktionsteile meift viel freiere Hand als bei hölzernen.

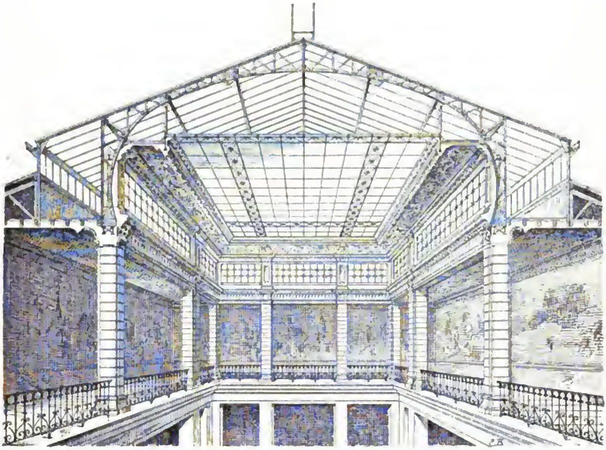
311. Dachlichter an eifernen Dachftühlen hangend.

Das Aufhängen gefchieht hier gleichfalls in der Weife, dafs man entweder den das Deckenlicht begrenzenden Rahmen oder bei gröfseren Anlagen die Hauptträger der verglaften Lichtflächen mittels eiferner Stangen mit hierzu geeigneten Konftruktionsteilen des Dachftuhles verbindet. Da die beiden Eifenkonftruktionen, namentlich zur Winterszeit, ziemlich verfchiedenen Wärmegraden ausgefetzt find, fo empfiehlt es fich, die Anordnung fo zu treffen, dafs diefelben unabhängig voneinander kleine Bewegungen machen können.

Ein Deckenlicht, dessen Umfassungsrahmen an den Dachstuhl aufgehängt ist, ist in Fig. 409[69]) dargestellt; dasselbe zeigt in konstruktiver Beziehung auch eine Verwandtschaft mit den in Art. 308 (S. 434) besprochenen Anlagen.

Fig. 406[67]) zeigt eine Ausführung, bei welcher der das Deckenlicht einfassende Rahmen aus Blechträgern konstruiert und mittels lotrechter eiserner Stangen an die Dachpfetten angehängt ist; überdies sind auch die Querträger des Deckenlichtes durch ein Hängewerk mit dem Dachstuhl verbunden.

Fig. 413.



Von der *Banque Secrestat* zu Bordeaux[73]).

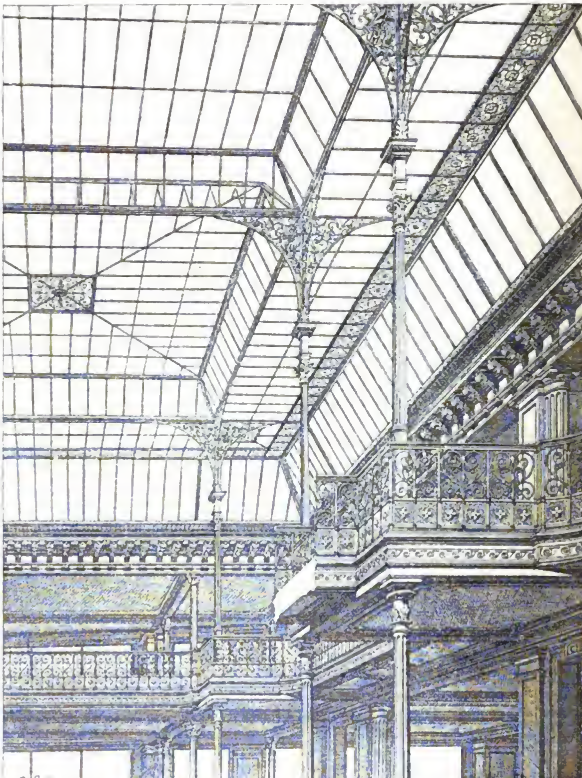
Die breite, durch Stichkappen unterbrochene Hohlkehle, welche das Deckenlicht umrahmt, ist durch Zwickelfiguren, die Künste und Wissenschaften darstellend, geziert, unter denen sich Portraitmedaillons hervorragender Vertreter derselben befinden.

Als erstes Beispiel einer verglasten Decke diene die in Fig. 410[70]) im Schnitt veranschaulichte Anlage. Die Hauptträger der Verglasung sind mittels lotrechter Eisenstangen an die Dachsparren gehängt, und Fig. 411[71]) giebt eine schaubildliche Darstellung des Raumes zwischen Decke und darüber befindlichem Dachlicht.

Der eigenartigen Anordnung der Glasscheiben wurde bereits in Art. 305 (S. 431) gedacht. Aus Fig. 410 u. 411 sind auch die Laufstege zu ersehen, welche sich über die ganze Decke erstrecken und jeden Teil derselben zugänglich machen.

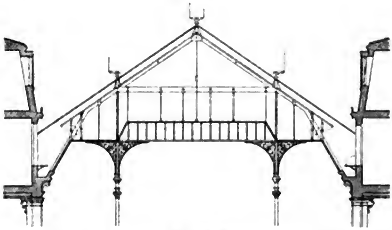
[69]) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1884, Bl. 40.
[70]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 534.
[71]) Fakf.-Repr. nach: *Moniteur des arch.* 1885, Pl. 1.
[72]) Fakf.-Repr. nach Zeitschr. f. Bauw. 1886, Bl. 23.
[73]) Fakf.-Repr. nach: *La construction moderne*, Jahrg. 8, S. 537.

Fig. 414.



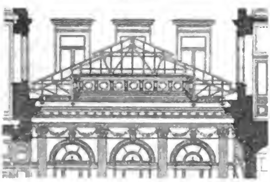
Von den *Magasins du Bon Marché* zu Paris [74]).

Fig. 415.



Von den *Magafins du Bon Marché* zu Paris [74]).
$^1/_{200}$ w. Gr.

Fig. 416.



Vom Treppenhaus des Gebäudes der *Assicurazioni Generali* zu Trieft [75]).
$^1/_{200}$ w. Gr.

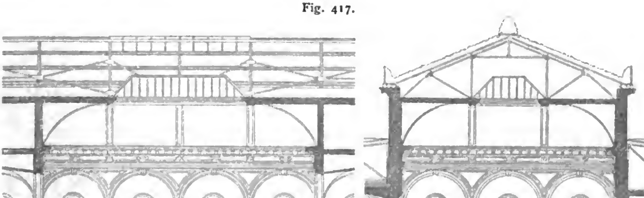
Eine verglafte Decke von bedeutenden Abmeffungen, jene über dem grofsen Lichthof der technifchen Hochfchule zu Berlin-Charlottenburg, zeigt Fig. 412 [72]). Diefelbe ift nach oben zu gewölbt und an das darüber befindliche eiferne Zeltdach gehängt.

Sie hat Bleiverglafung erhalten, und dicht über ihr liegt noch eine zweite Glasdecke von gewöhnlichem Doppelglas in Kitt, um Staub und Schmutz von der erfteren abzuhalten. Diefe Decke kann mittels gewöhnlicher Gartenfprenghähne gereinigt werden; das abfliefsende Waffer wird in Blechrinnen gefammelt und durch die Regenfallrohre abgeführt.

Auch die aus Fig. 413 [73]) erfichtliche Glasdeckenanordnung hat beträchtliche Abmeffungen; der darunter befindliche Saal hat 225 qm Grundfläche.

Die eigenartig geformten Dachbinder bilden mit ihren nach aufsen gekehrten lotrechten Teilen die Stützen für die Galerieanlage, welche den Saal rings umgiebt. Der die Decke einfchliefsende, als Blechträger konftruierte Rahmen ift an die Dachbinder aufgehangen.

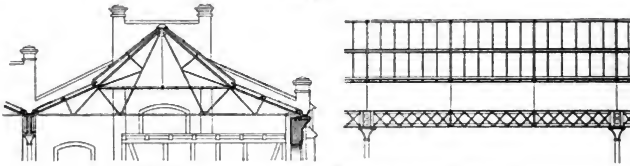
Fig. 417.



Von der öffentlichen Bibliothek zu Stuttgart [76]).
$^1/_{200}$ w. Gr.

74) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 4, S. 510, 511.
75) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1888, Bl. 58.
76) Fakf.-Repr. nach ebendaf., Bl. 41.

Fig. 418.



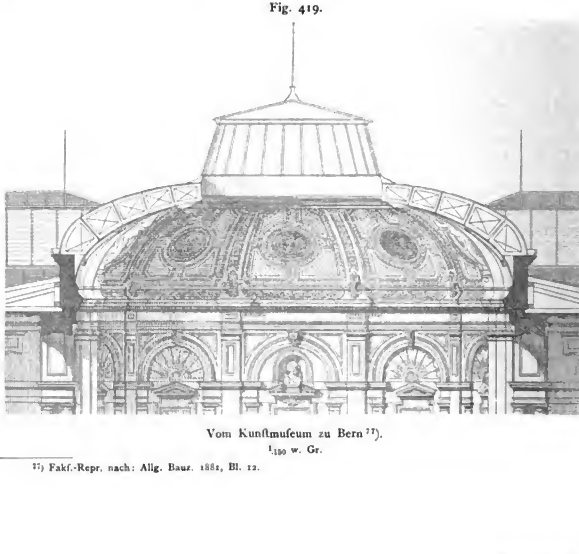
Vom Lackierereigebäude auf dem Werkstättenbahnhof Leinhausen.
1/100 w. Gr.

In Fig. 414 u. 415 [74]) ist eine reich gegliederte Glasdecke aus Paris dargestellt. Die 6,80 m breiten Mittelteile derselben sind als abgestumpfte Pyramiden ausgebildet; der dieselben stützende Rahmen ruht auf Eisensäulen, wodurch sich diese Decke den unter 4 vorzuführenden Konstruktionen nähert. Im übrigen ist die Glasdecke zum gröfsten Teile an die Kehlbalken des darüber befindlichen Dachstuhles gehängt.

312. Deckenlicht und Dachstuhl in anderer Weise vereinigt.

Der über einem Deckenlicht oder einer verglasten Decke befindliche Dachstuhl kann, aufser durch Aufhängung, auch noch in anderer Weise den Träger der ersteren bilden. Am häufigsten wird dies in der Weise ausgeführt, dafs man die unteren Gurtungen oder andere wagrechte, bezw. liegende Konstruktionsteile der Dachbinder unmittelbar zu Trägern der verglasten Lichtflächen macht; dabei wird verhältnismäfsig selten in Rückficht auf das Deckenlicht das Tragwerk in besonderer Weise

Fig. 419.



Vom Kunstmuseum zu Bern [77]).
1/150 w. Gr.

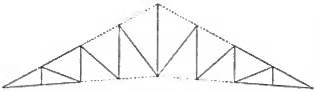
77) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1881, Bl. 12.

geſtaltet; meiſt ſind die Dachbinder nach den allgemein gebräuchlichen Syſtemen geſtaltet.

Eine ſolche beſondere Geſtaltung des Tragwerkes zeigen allerdings die in Fig. 416 [75]) u. 417 [76]) dargeſtellten Anlagen, die in gewiſſem Sinne auch den Uebergang von den im vorhergehenden Artikel vorgeführten zu den in Rede ſtehenden Konſtruktionen bilden, da dabei auch eine Aufhängung an den Dachſtuhl ſich vorfindet.

Bei der durch Fig. 418 veranſchaulichten Ausführung hingegen iſt ein ſonſt auch übliches Syſtem von Dachbindern zu erblicken; doch iſt an denjenigen Knotenpunkten, in denen die Sparren geknickt ſind, der aus ⊏-Eiſen gebildete Rahmen befeſtigt, auf welchem das Sproſſenwerk des Deckenlichtes ruht. Zum Tragen des Sproſſenwerkes dient auch noch ein ſtärkerer Längsträger, welcher mit den Firſtknotenblechen durch Hängeſtangen verbunden iſt.

Fig. 420.



Eine unmittelbare Verwendung der Dachbinder in dem Sinne, daſs die obere Gurtung das Dachlicht, die untere Gurtung das Deckenlicht aufnimmt, geſtattet u. a., wie Fig. 420 zeigt, in ſehr einfacher Weiſe der ſog. engliſche Dachſtuhl. Eine ſolche Ausfuhrung iſt z. B. über einem Deckenlichtſaal in der Bildergalerie des alten Muſeums zu Berlin [78]) zu finden.

Auch Kuppeldachkonſtruktionen können, wie aus Fig. 419 [77]) erſichtlich iſt, in dem hier in Rede ſtehenden Sinne für das Anbringen der Deckenlichter ausgenutzt werden. In Fig. 419 nimmt der Druckring der Kuppel, welcher die Laterne zu tragen hat, auch den Umfaſſungsrahmen des Deckenlichtes auf.

d) Verglaſte Decken und Deckenlichter mit beſonderen Tragkonſtruktionen.

Wenn ein Deckenlicht, bezw. eine verglaſte Decke bedeutende Abmeſſungen hat und wenn es aus irgend welchen Gründen nicht angeht, eine konſtruktive Ver- 313. Freiſtützen.
einigung mit dem darüber gelegenen Dachwerk durchzuführen, ſo müſſen beſondere Konſtruktionsteile angeordnet werden, welche die verglaſten Lichtflächen zu ſtützen, bezw. zu tragen haben. Verhältnismäſsig ſelten werden dieſe Konſtruktionsteile unter die verglaſte Decke geſetzt; meiſt befinden ſie ſich oberhalb derſelben. Hauptſächlich ſind es Freiſtützen, ausgekragte Träger, Blech- und Gitterträger verſchiedener Art, welche im vorliegenden Falle in Frage kommen.

Für die Anwendung von Säulen oder anderen Freiſtützen wurde in Fig. 414 u. 415 (S. 446 u. 447) bereits ein Beiſpiel vorgeführt.

Bei manchen Ausführungen wird der Rahmen, welcher die verglaſte Decke, bezw. das Deckenlicht begrenzt, durch konſolenartige Träger geſtützt, welche in den 314. Ausgekragte Träger.
Umfaſſungsmauern des betreffenden zu erhellenden Raumes in geeigneter Weiſe verankert ſind; bisweilen wird auch noch das Aufhängen an dem darüber befindlichen Dachſtuhle zu Hilfe genommen.

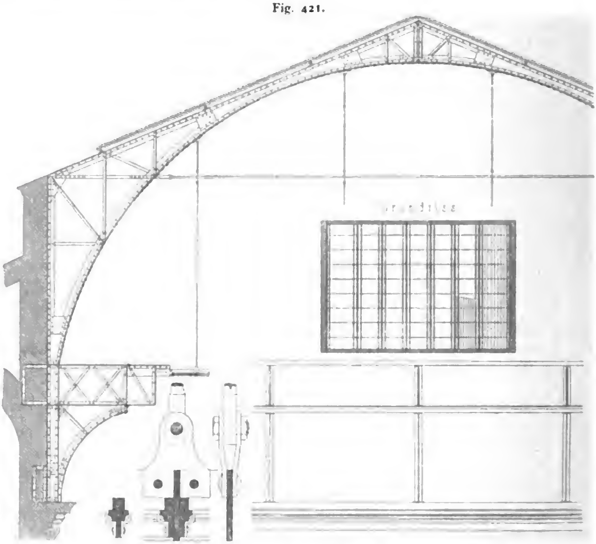
Eine groſse Glasdecke letzterer Art iſt über dem $24{,}18^{m}$ langen und $16{,}36^{m}$ breiten Lichthofe des öſterreichiſchen Muſeums für Kunſt und Induſtrie zu Wien (Fig. 421 [79]) zu finden.

[78]) Siehe darüber: Zeitſchr. f. Bauw. 1871, S. 185 u. Bl. H.

[79]) Fakſ.-Repr. nach Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

Diefe Glasdecke wird teils durch Kraganordnungen unterftützt, teils ift fie an den eifernen Bindern des darüber befindlichen Dachftuhles beweglich aufgehängt. Eine mächtige, mit Stichkappen verfehene Hohlkehle bildet die Umrahmung der Glasdecke; fie ift gemauert, und ihr fehr bedeutendes Gewicht wird im wefentlichen von eifernen Kragträgern aufgenommen, welche zum Teile von den Dachbindern getragen werden, zum Teile in den Umfaffungsmauern feft verankert find. Fig. 421 zeigt diefe Träger, und durch eine der beigefügten Teilabbildungen ift die Verbindung der Hängeftange mit den Hauptfproffen der Glasdecke im einzelnen veranfchaulicht[80]).

Fig. 421.



Vom grofsen Lichthof des öfterreichifchen Mufeums für Kunft und Induftrie zu Wien[79]).
$^1/_{100}$, bezw. $^1/_{600}$ w. Gr.

Derlei auskragende Konftruktionsteile können auch in Holz ausgeführt werden, wie dies die Glasdecken in den Deckenlichtfalen desfelben Mufeums zeigen (Fig. 422[81]).

315.
Blech-, Gitter- und andere Träger.

Im allgemeinen einfacher geftaltet fich die Konftruktion der verglaften Decken, wenn man ihr Sproffenwerk durch eiferne Träger, die als Blechträger, Gitterträger oder Bogenträger ausgebildet fein können, unterftützt. Die hauptfächlich vorkommenden Anordnungen find die folgenden:

α) Man bildet die vier Teile des rechteckigen Rahmens, welcher die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht umfchliefst, als Blech- oder Gitterträger aus. Fig. 423 zeigt hierfür ein Beifpiel.

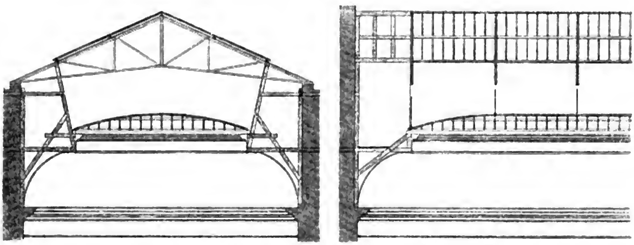
[80]) Bezüglich weiterer Konftruktionseinzelheiten fiehe: WIST, J. Studien über ausgeführte Wiener Bau-Conftructionen. Wien 1872. S. 47 u. Taf. 39.

[81]) Fakf.-Repr. nach: Allg. Bauz. 1871, Bl. 58.

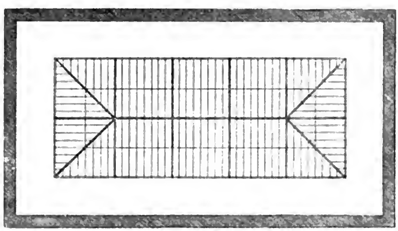
Hier ift der Rahmen aus vier Gitterträgern zufammengefetzt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk ruht, während die oberen Gurtungen der beiden Längsträger der Ueberdachung als Auflager dienen. Der Rahmen felbft wird durch Kragträger geftützt; in der Längenrichtung der Glasdecke find noch zwei gewalzte I-Träger angeordnet, welche diefelbe in drei Felder teilen.

β) Eine weitere Anordnung befteht darin, dafs man in der Längen- und Querrichtung des zu überdeckenden Raumes ftärkere Träger verlegt, auf deren unteren Gurtungen das Sproffenwerk lagert. Bei etwas gröfserer Breitenabmeffung der Decke

Fig. 422.



1/200 w. Gr.



1/200 w. Gr.

Vom öfterreichifchen Mufeum für Kunft und Induftrie zu Wien [81]).

werden diefe Träger eine fo bedeutende Höhe erhalten, dafs man fie, des Lichteinfalles wegen, kaum als Blechträger, fondern als Gitterträger ausführen wird.

In Fig. 424 [82]) ift ein einfchlägiges Beifpiel veranfchaulicht.

Für diefe Glasdecke find der Länge und der Quere nach je zwei Fachwerkträger angeordnet, welche auf den Umfaffungswänden gelagert und überdies durch Hängeftangen mit dem darüber befindlichen Dachftuhl verbunden find. Die Konftruktion des die Glasdecke umrahmenden undurchfichtigen Teiles (aus gewölbten Hohlkehlen etc. gebildet) ift an jene Fachwerkträger angehängt.

Auch die in Fig. 425 [83]) dargeftellte Ausführung, bei der die in Rede ftehenden Träger nach Art der Dachbinder ausgebildet find, gehört hierher.

Hier ift die fchwere gewölbte Hohlkehle gleichfalls mit den Eifenträgern verbunden; indes hat auch eine Verankerung mit den Umfaffungsmauern ftattgefunden.

---

[82]) Nach: Allg. Bauz. 1879, Bl. 69.

[83]) Fakf. Repr. nach: Zeitfchr. f. Bauw. 1879, Bl. 2.

Fig. 423.

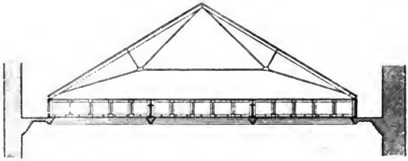
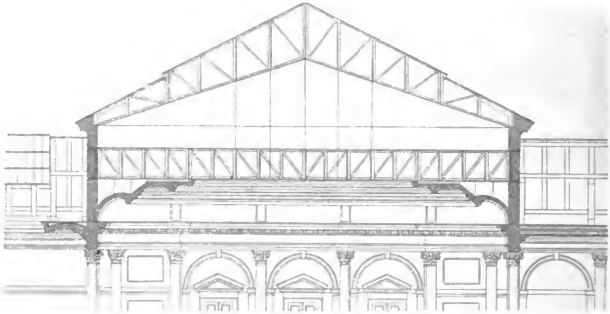
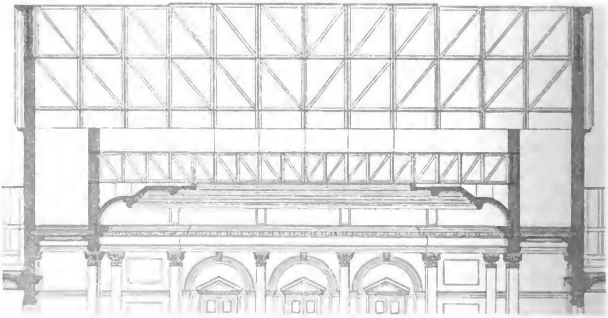


Fig. 424.



Querfchnitt.

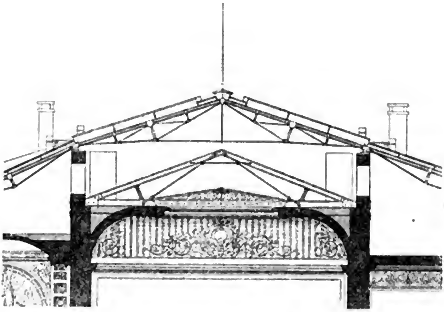


Längenfchnitt

Vom Sitzungsfaal des Landhaufes zu Brünn [82]).

1/200 w. Gr.

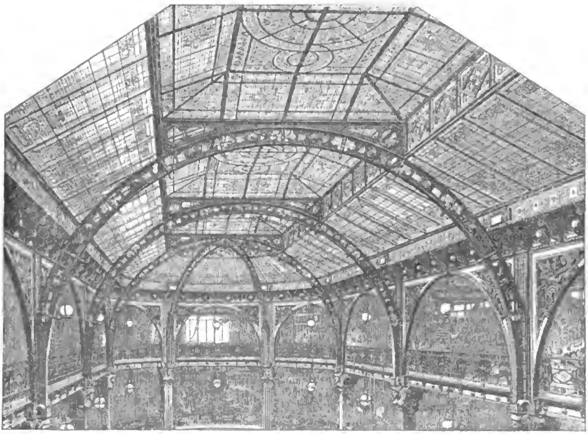
Fig. 425.



Von der Gemäldegalerie zu Kaffel [83]).

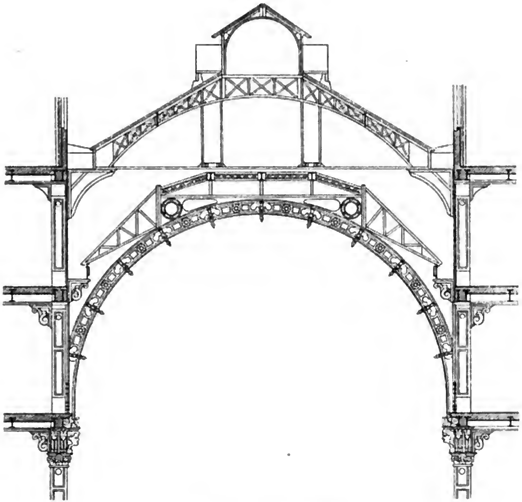
$^{1}/_{250}$ w. Gr.

Fig. 426.



Von der grofsen Halle der *Magafins du Printemps* zu Paris [84]).

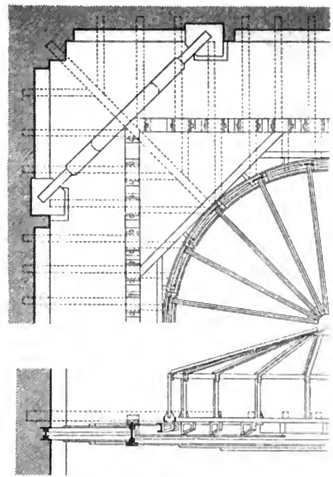
Fig. 427.



Querfchnitt zu Fig. 426 [84]).

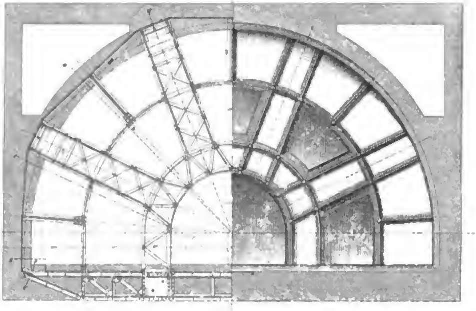
$^1/_{150}$ w. Gr.

Fig. 428.



$^1/_{100}$ w. Gr.

Fig. 429[83]).





1/100 w. Gr.

γ) In wenigen Fällen find die Glasdecken von unten aus durch eiferne Bogenträger unterftützt worden. Eine bemerkenswerte Konftruktion diefer Art zeigen Fig. 426 u. 427[84]); die tragenden Teile der Glasdecke ruhen mit den Füfsen auf Konfolen, im übrigen auf Bogenträgern.

δ) Weniger einfach wird die Anordnung der Träger, fobald die Glasdecke, bezw. das Deckenlicht nicht, wie feither ftets vorausgefetzt wurde, rechteckig geftaltet ift, fondern eine andere Grundform befitzt. Je nachdem die letztere gebildet ift und je nach den anderen mafsgebenden Verhältniffen wird die Ausführung allerdings eine ziemlich verfchiedene fein.

So z. B. wird man bei einem kreisrunden Deckenlicht über einem quadratifchen Raume die eifernen Träger nach Fig. 428 anordnen können.

Der innere Ring diefer Eifenkonftruktion trägt nicht allein das Sproffenwerk des Deckenlichtes, fondern auch die zeltdachförmig abgefchloffene Dachlaterne.

Ift hingegen der zu überdeckende Raum felbft rund geftaltet, fo ordnet man die Hauptträger am beften radial an, wie dies z. B. bei der durch Fig. 429[85]) veranfchaulichten Glasdecke über einem halbrunden Treppenhaus von $4{,}70^{m}$ innerem Halbmeffer gefchehen ift.

Die Eifenkonftruktion bildet hier die Hälfte einer Kuppel, in der die auf Druck beanfpruchten Konftruktionsteile als Gitterträger ausgebildet find. Als eigentliches Tragfyftem find dabei der gitterförmige Druckring, die 4 radial angeordneten Gitterfparren, der Zugring, welcher die Auflager der letzteren verbindet, und der wagrechte Fachwerkträger, welcher die fehlende Kuppelhälfte erfetzt, zu betrachten[85]).

[84]) Nach: *L'architecture*, Jahrg. 5, S. 42, 43.

[85]) Nach: Zeitfchr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 315 u. Bl 749

Litteratur

über »Verglaste Decken und Deckenlichter«.

SCHWATLO. Ueber die Anlage von Oberlichtern in eleganten Räumen. Zeitschr. f. Bauw. 1867, S. 442.

BECKER. Ueber Glaslinsen. Zeitschr. f. Bauwesen 1868, S. 309.

Construction von Oberlichten. Haarmann's Zeitschr. f. Bauhdw. 1877, S. 172.

Die Strassen-Einfall-Lichter. Haarmann's Zeitschr. f. Bauhdw. 1881, S. 188.

Patentirte Einfall-Lichter mit halbprismatischen Linsen in Treppenform. Baugwks.-Ztg. 1881, S. 443.

Hayward's pavement lights. Architect, Bd. 27, S. 139.

Oberlicht-Construction. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 244.

Oberlichter von Linsen- und Prismenglas. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 256.

LAUGEREY. *Vitres-dalles et planchers translucides. La semaine des constr.*, Jahrg. 9, S. 582.

BARRÉ, L.-A. *Planchers en fer et en dalles de verre. La semaine des constr.*, Jahrg. 10, S. 90.

FRANGENHEIM. Einfache Verglasung der Dächer und Oberlichte. Deutsche Bauz. 1887, S. 417.

BOILEAU, L.-C. *Les plafonds vitrés. L'architecture*, Jahrg. 3, S. 159; Jahrg. 4, S. 53, 519, 533; Jahrg. 5, S. 41.

Fortschritte auf dem Gebiete der Architektur. Nr. 2: Verglaste Decken und Deckenlichter. Von A. SCHACHT & E. SCHMITT. Darmstadt 1894.

»Dripplefs« and »Safety« pavement lights. Building news, Bd. 72, S. 59.

ECKSTEIN, W. *Interior lighting. Builder*, Bd. 74, S. 465.

Beleuchtung dunkler Räume durch »Einfalllichte«. Baugwks.-Ztg. 1899, S. 1373.

GREENE, W. H. *Prismatic lighting for the illumination of dark interiors. American architect*, Bd. 69, S. 34. *Architects' and builders' magazine*, Bd. 1, S. 377.

Berichtigungen.

S. 9, Fig. 9: Statt »*bu*« zu lesen: »*b — u*«.

S. 40, Zeile 9 v. o.: Statt »*a a*« zu lesen: »*a d*«.

S. 40, Zeile 3 v. u.: Statt »*a*« zu lesen: »*d*«.

S. 67, Zeile 12 v. u.: Statt »$o_1 p l q VI$« zu lesen: »$o_1 p l q IV$«.

DRITTER TEIL.

DIE HOCHBAUKONSTRUKTIONEN.

1. Band: **Konstruktionselemente** in Stein, Holz und Eisen. Von Geh. Regierungsrat Prof. G. BARKHAUSEN, Hannover, Geh. Regierungsrat Prof. Dr. F. HEINZERLING, Aachen und Geh. Baurat Prof. † E. MARX, Darmstadt. — **Fundamente**. Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Dritte Auflage. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

2. Band: **Raumbegrenzende Konstruktionen.**

Heft 1: **Wände und Wandöffnungen.** Von Geh. Baurat Prof. † E. MARX, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 24 Mark, in Halbfranz gebunden 27 Mark.

Heft 2: **Einfriedigungen, Brüstungen und Geländer; Balkone, Altane und Erker.** Von Prof. † F. EWERBECK, Aachen und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Gesimse.** Von Prof. † A. GÖLLER, Stuttgart. Zweite Auflage. Preis: 20 M., in Halbfranz geb. 23 M.

Heft 3, a: **Balkendecken.** Von Geh. Regierungsrat Prof. G. BARKHAUSEN, Hannover. Zweite Aufl. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 3, b: **Gewölbte Decken; verglaste Decken und Deckenlichter.** Von Geh. Hofrat Prof. C. KÖRNER, Braunschweig, Bau- und Betriebs-Inspektor A. SCHACHT, Celle, und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Aufl. Preis: 24 Mark, in Halbfranz gebunden 27 Mark.

Heft 4: **Dächer**; Dachformen. Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — Dachstuhlkonstruktionen. Von Geh. Baurat Prof. TH. LANDSBERG, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 18 Mark, in Halbfranz gebunden 21 Mark.

Heft 5: **Dachdeckungen**; verglaste Dächer und Dachlichter; massive Steindächer, Nebenanlagen der Dächer. Von Geh. Baurat Prof. H. KOCH, Berlin, Geh. Baurat Prof. † E. MARX, Darmstadt und Geh. Oberbaurat L. SCHWERING, St. Johann a. d. Saar. Zweite Auflage. Preis: 26 Mark, in Halbfranz gebunden 29 Mark.

3. Band, Heft 1: **Fenster, Thüren** und andere bewegliche Wandverschlüsse. Von Geh. Baurat Prof. H. KOCH, Berlin. Zweite Auflage.
Preis: 21 Mark, in Halbfranz gebunden 24 Mark.

Heft 2: **Anlagen zur Vermittelung des Verkehrs in den Gebäuden** (Treppen und innere Rampen; Aufzüge; Sprachrohre, Haus- und Zimmer-Telegraphen). Von Direktor † J. KRÄMER, Frankenhausen, Kaiserl. Rat PH. MAYER, Wien, Baugewerkschullehrer O. SCHMIDT, Posen und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 14 Mark, in Halbfranz gebunden 17 Mark.

Heft 3: **Ausbildung der Fussboden-, Wand- und Deckenflächen.** Von Geh. Baurat Prof. H. KOCH, Berlin. Preis: 18 Mark, in Halbfranz gebunden 21 Mark.

4. Band: **Anlagen zur Versorgung der Gebäude mit Licht und Luft, Wärme und Wasser.** Versorgung der Gebäude mit Sonnenlicht und Sonnenwärme. Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — Künstliche Beleuchtung der Räume. Von Geh. Regierungsrat Prof. H. FISCHER und Prof. Dr. W. KOHLRAUSCH, Hannover. — Heizung und Lüftung der Räume. Von Geh. Regierungsrat Prof. H. FISCHER, Hannover. — Wasserversorgung der Gebäude. Von Prof. Dr. O. LUEGER, Stuttgart. Zweite Auflage.
Preis: 22 Mark, in Halbfranz gebunden 25 Mark.

5. Band: **Koch-, Spül-, Wasch- und Bade-Einrichtungen.** Von Geh. Bauräten Professoren † E. MARX und Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Entwässerung und Reinigung der Gebäude;** Ableitung des Haus-, Dach- und Hofwassers; Aborte und Pissoirs; Entfernung der Fäkalstoffe aus den Gebäuden. Von Privatdocent Bauinspektor M. KNAUFF, Berlin und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Aufl. (Vergriffen.) Dritte Auflage in Vorbereitung.

6. Band: **Sicherungen gegen Einbruch.** Von Geh. Baurat Prof. † E. MARX, Darmstadt. — **Anlagen zur Erzielung einer guten Akustik.** Von Geh. Baurat † A. ORTH, Berlin. — **Glockenstühle.** Von Geh. Rat Dr. C. KÖPCKE, Dresden. — **Sicherungen gegen Feuer, Blitzschlag, Bodensenkungen und Erderschütterungen; Stützmauern.** Von Baurat E. SPILLNER, Essen. — **Terrassen und Perrons, Freitreppen und äussere Rampen.** Von Prof. † F. EWERBECK, Aachen. — **Vordächer.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Eisbehälter und sonstige Kühlanlagen.** Von Stadtbaurat † G. OSTHOFF, Berlin und Baurat E. SPILLNER, Essen. Zweite Auflage. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

Zu beziehen durch die meisten Buchhandlungen.

VIERTER TEIL.

ENTWERFEN, ANLAGE UND EINRICHTUNG DER GEBÄUDE.

1. Halbband: **Die architektonische Komposition.** Allgemeine Grundzüge. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — Die Proportionen in der Architektur. Von Prof. A. THIERSCH, München. — Die Anlage des Gebäudes. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — Die Gestaltung der äusseren und inneren Architektur. Von Prof. J. BÜHLMANN, München. — Vorräume, Treppen-, Hof- und Saal-Anlagen. Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. Zweite Auflage. (Vergriffen.)
Dritte Auflage in Vorbereitung.

2. Halbband: **Gebäude für die Zwecke des Wohnens, des Handels und Verkehres.**

Heft 1: **Wohnhäuser.** Von Geh. Hofrat Prof. C. WEISSBACH, Dresden.
Preis: 21 Mark, in Halbfranz gebunden 24 Mark.

Heft 2: **Gebäude für Geschäfts- und Handelszwecke** (Geschäfts-, Kauf- und Warenhäuser, Gebäude für Banken und andere Geldinstitute, Passagen oder Galerien, Börsengebäude). Von Prof. Dr. H. AUER, Bern, Architekt P. KICK, Berlin, Prof. K. ZAAR, Berlin und Docent A. L. ZAAR, Berlin. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

Heft 3: **Gebäude für den Post-, Telegraphen- und Fernsprechdienst.** Von Postbaurat R. NEUMANN, Erfurt. Preis: 10 Mark, in Halbfranz gebunden 13 Mark.

3. Halbband: **Gebäude für die Zwecke der Landwirtschaft und der Lebensmittel-Versorgung.**

Heft 1: **Landwirtschaftliche Gebäude und verwandte Anlagen.** Von Prof. A. SCHUBERT, Kassel und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage.
Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

Heft 2: **Gebäude für Lebensmittel-Versorgung** (Schlachthöfe und Viehmärkte; Märkte für Lebensmittel; Märkte für Getreide; Märkte für Pferde und Hornvieh). Von Stadtbaurat † G. OSTHOFF, Berlin und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 16 Mark, in Halbfranz gebunden 19 Mark.

4. Halbband: **Gebäude für Erholungs-, Beherbergungs- und Vereinszwecke.**

Heft 1: **Schankstätten und Speisewirtschaften, Kaffeehäuser und Restaurants.** Von Geh Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Volksküchen und Speiseanstalten für Arbeiter; Volks-Kaffeehäuser.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. — **Oeffentliche Vergnügungsstätten.** Von Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Festhallen.** Von Geh. Rat Prof. Dr. J. DURM, Karlsruhe. — **Gasthöfe höheren Ranges.** Von Geh. Baurat H. v. D. HUDE, Berlin. — **Gasthöfe niederen Ranges, Schlaf- und Herbergshäuser.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Zweite Auflage. (Vergriffen.)
Dritte Auflage in Vorbereitung.

Heft 2: **Baulichkeiten für Kur- und Badeorte.** Von Architekt † J. MYLIUS, Frankfurt a. M. und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Gebäude für Gesellschaften und Vereine.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. — **Baulichkeiten für den Sport. Sonstige Baulichkeiten für Vergnügen und Erholung.** Von Geh Rat Prof. Dr. J. DURM, Karlsruhe, Architekt † J. LIEBLEIN, Frankfurt a. M., Oberbaurat Prof. R. v. REINHARDT, Stuttgart und Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. Zweite Auflage. Preis: 11 Mark, in Halbfranz gebunden 14 Mark.

5. Halbband: **Gebäude für Heil- und sonstige Wohlfahrts-Anstalten.**

Heft 1: **Krankenhäuser.** Von Prof. F. O. KUHN, Berlin. Zweite Auflage.
Preis: 32 Mark, in Halbfranz gebunden 35 Mark.

Heft 2: **Verschiedene Heil- und Pflege-Anstalten** (Irrenanstalten, Entbindungsanstalten, Heimstätten für Wöchnerinnen und für Schwangere, Sanatorien, Lungenheilstätten, Heimstätten für Genesende); **Versorgungs-, Pflege- und Zufluchtshäuser.** Von Stadtbaurat G. BEHNKE, Frankfurt a. M., Oberbaurat und Geh. Regierungsrat † A. FUNK, Hannover und Prof. K. HENRICI, Aachen. Zweite Auflage.
Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 3: **Bade- und Schwimm-Anstalten.** Von Baurat F. GENZMER, Wiesbaden.
Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 4: **Wasch- und Desinfektions-Anstalten.** Von Baurat F. GENZMER, Wiesbaden.
Preis: 9 Mark, in Halbfranz gebunden 12 Mark.

Jedes Heft bildet ein für sich abgeschlossenes Ganzes und ist auch einzeln käuflich.

6. Halbband: **Gebäude für Erziehung, Wissenschaft und Kunst.**

Heft 1: **Niedere und höhere Schulen** (Schulbauwesen im allgemeinen; Volksschulen und andere niedere Schulen; niedere techn. Lehranstalten u. gewerbl. Fachschulen; Gymnasien und Real-Lehranstalten, mittlere techn. Lehranstalten, höhere Mädchenschulen, sonstige höhere Lehranstalten; Pensionate u. Alumnate, Lehrer- u. Lehrerinnen-Seminare, Turnanstalten). Von Stadtbaurat G. BEHNKE, Frankfurt a. M., Oberbaurat Prof. † H. LANG, Karlsruhe, Architekt † O. LINDHEIMER, Frankfurt a. M., Geh. Bauräten Prof. Dr. E. SCHMITT und † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. (Vergriffen.) Zweite Auflage unter der Presse.

Heft 2: **Hochschulen,** zugehörige und verwandte wissenschaftliche Institute (Universitäten; technische Hochschulen; naturwissenschaftliche Institute; medizinische Lehranstalten der Universitäten; technische Laboratorien; Sternwarten und andere Observatorien). Von Geh. Oberbaurat H. EGGERT, Berlin, Baurat C. JUNK, Berlin, Geh. Hofrat Prof. C. KÖRNER, Braunschweig, Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt, Oberbaudirektor † Dr. P. SPIEKER, Berlin und Geh. Regierungsrat L. v. TIEDEMANN, Potsdam. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

Heft 3: **Künstler-Ateliers, Kunstakademien und Kunstgewerbeschulen; Konzerthäuser und Saalbauten.** Von Reg.-Baumeister C. SCHAUPERT, Nürnberg, Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt und Prof. C. WALTHER, Nürnberg. Preis: 15 Mark, in Halbfranz gebunden 18 Mark.

Heft 4: **Gebäude für Sammlungen und Ausstellungen** (Archive; Bibliotheken; Museen; Pflanzenhäuser; Aquarien; Ausstellungsbauten). Von Baurat † A. KERLER, Karlsruhe, Stadtbaurat A. KORTÜM, Halle, Architekt † O. LINDHEIMER, Frankfurt a. M., Prof. A. MESSEL, Berlin, Architekt R. OPFERMANN, Mainz, Geh. Bauräten Prof. Dr. E. SCHMITT und † Dr. H. WAGNER, Darmstadt. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung.

Heft 5: **Theater- und Cirkusgebäude.** Von Baurat M. SEMPER, Hamburg und Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt. Unter der Presse.

7. Halbband: **Gebäude für Verwaltung, Rechtspflege und Gesetzgebung; Militärbauten.**

Heft 1: **Gebäude für Verwaltung und Rechtspflege** (Stadt- und Rathäuser; Gebäude für Ministerien, Botschaften und Gesandtschaften; Geschäftshäuser für Provinz- und Kreisbehörden; Geschäftshäuser für sonstige öffentliche und private Verwaltungen; Leichenschauhäuser; Gerichtshäuser; Straf- und Besserungsanstalten). Von Prof. F. BLUNTSCHLI, Zürich, Stadtbaurat A. KORTÜM, Halle, Prof. G. LASIUS, Zürich, Stadtbaurat † G. OSTHOFF, Berlin, Geh. Baurat Prof. Dr. E. SCHMITT, Darmstadt, Baurat F. SCHWECHTEN, Berlin, Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt und Baudirektor † TH. v. LANDAUER, Stuttgart. Zweite Auflage.
Preis: 27 Mark, in Halbfranz gebunden 30 Mark.

Heft 2: **Parlaments- und Ständehäuser; Gebäude für militärische Zwecke.** Von Geh. Baurat Prof. Dr. P. WALLOT, Dresden, Geh. Baurat Prof. † Dr. H. WAGNER, Darmstadt und Oberstleutnant F. RICHTER, Dresden. Zweite Aufl. Preis: 12 Mark, in Halbfranz gebunden 15 Mark.

8. Halbband: **Kirchen, Denkmäler und Bestattungsanlagen.**

Heft 1: **Kirchen.** Von Hofrat Prof. Dr. C. GURLITT, Dresden. In Vorbereitung.

Heft 2 u. 3: **Denkmäler.** Von Architekt A. HOFMANN, Berlin. Unter der Presse.

9. Halbband: **Der Städtebau.** Von Geh. Baurat J. STÜBBEN, Köln. (Vergriffen.) Zweite Auflage in Vorbereitung

10. Halbband: **Die Garten-Architektur.** Von Baurat A. LAMBERT und Architekt E. STAHL, Stuttgart.
Preis: 8 Mark, in Halbfranz gebunden 11 Mark

Das »Handbuch der Architektur« ist zu beziehen durch die meisten Buchhandlungen, welche auf Verlangen auch einzelne Bände zur Ansicht vorlegen. Die meisten Buchhandlungen liefern das »Handbuch der Architektur« auf Verlangen sofort vollständig, soweit erschienen, oder eine beliebige Auswahl von Bänden, Halbbänden und Heften auch gegen monatliche Teilzahlungen. Die Verlagshandlung ist auf Wunsch bereit, solche Handlungen nachzuweisen.

Stuttgart,
im Februar 1903.

Arnold Bergsträsser Verlagsbuchhandlung
A. Kröner.

Handbuch der Architektur.

Unter Mitwirkung von Prof. Dr. **J. Durm**, Geh. Rat in Karlsruhe und
Prof. **H. Ende**, Geh. Regierungs- und Baurat, Präsident der Kunstakademie in Berlin,
herausgegeben von Prof. Dr. **Ed. Schmitt**, Geh. Baurat in Darmstadt.

Arnold Bergsträsser Verlagsbuchhandlung (A. Kröner) in Stuttgart.

Alphabetisches Sach-Register.

	Teil	Band	Heft
Ableitung des Haus-, Dach- und Hofwassers	III	5	
Aborte	III	5	
Akademien der bildenden Künste	IV	6	3
Akademien der Wissenschaften	IV	4	2
Akustik. Anlagen zur Erzielung einer guten Akustik	III	6	
Altane	III	2	2
Altchristliche Baukunst	II	3	1
Altersversorgungs-Anstalten	IV	5	2
Alumnate	IV	6	1
Anlage der Gebäude	IV		
Antike Baukunst	II	1/2	
Aquarien	IV	6	4
Arbeiterwohnhäuser	IV	2	1
Arbeitshäuser	IV	5	2
"	IV	7	1
Architekturformen. Gestaltung nach malerischen Grundsätzen	I	2	
Archive	IV	6	4
Armen-Arbeitshäuser	IV	5	2
Armen-Versorgungshäuser	IV	5	2
Asphalt als Material des Ausbaues	I	1	1
Ateliers	IV	6	3
Aufzüge	III	3	2
Ausbau. Konstruktionen des inneren Ausbaues	III	3/6	
Materialien des Ausbaues	I	1	1
Aussteigeöffnungen der Dächer	III	2	5
Ausstellungsbauten	IV	6	4
Bade-Anstalten	IV	5	3
Bade-Einrichtungen	III	5	
Balkendecken	III	2	3,a
Balkone	III	2	2
Balustraden	IV	9	
Bankgebäude	IV	2	2
Bauernhäuser	IV	2	1
Bauernhöfe	IV	2	1
"	IV	3	1
Bauformenlehre	I	2	
Bauführung	I	5	
Bauleitung	I	5	
Baumaschinen	I	5	
Bausteine	I	1	1
Baustile. Historische und technische Entwickelung	II	1/7	

	Teil	Band	Heft
Baustoffe. Technik der wichtigeren Baustoffe	I	1	1
Bazare	IV	2	2
Beherbergung. Gebäude für Beherbergungszwecke	IV	4	
Behörden, Gebäude für	IV	7	1
Beleuchtung, künstliche, der Räume	III	4	
Beleuchtungs-Anlagen	IV	9	
Besserungs-Anstalten	IV	7	1
Bestattungs-Anlagen	IV	8	5
Beton als Konstruktionsmaterial	I	1	1
Bibliotheken	IV	6	4
Blei als Baustoff	I	1	1
Blinden-Anstalten	IV	5	2
Blitzableiter	III	6	
Börsen	IV	2	2
Botschaften. Gebäude f. Botschaften	IV	7	1
Brunnendenkmäler	IV	8	4
Brüstungen	III	2	2
Buchdruck und Zeitungswesen	IV	7	1
Büchermagazine	IV	6	4
Bürgerschulen	IV	6	1
Bürgersteige, Befestigung der	III	6	
Byzantinische Baukunst	II	3	1
Chemische Institute	IV	6	2
Cirkusgebäude	IV	6	5
Concerthäuser	IV	6	3
Dächer	III	2	4
Massive Steindächer	III	2	5
Metalldächer	III	2	5
Nebenanlagen der Dächer	III	2	5
Schieferdächer	III	2	5
Verglaste Dächer	III	2	5
Ziegeldächer	III	2	5
Dachdeckungen	III	2	5
Dachfenster	III	2	5
Dachformen	III	2	4
Dachkämme	III	2	5
Dachlichter	III	2	5
"	III	3	1
Dachrinnen	III	2	2
Dachstühle. Statik der Dachstühle	I	1	2
Dachstuhlkonstruktionen	III	2	4
Decken	III	2	3, a u. b
Deckenflächen, Ausbildung der	III	3	3

Jedes Heft bildet ein für sich abgeschlossenes Ganzes und ist auch einzeln käuflich.

	Teil	Band	Heft
Deckenlichter	III	2	3,b
"	III	3	1
Denkmäler	IV	8	2/3
Desinfektions-Anstalten	IV	5	4
Desinfektions-Einrichtungen	III	5	
Einfriedigungen	III	2	2
"	IV	9	
Einrichtung der Gebäude	IV	1/8	
Eisbehälter	III	6	
Eisen und Stahl als Konstruktionsmaterial	I	1	1
Eisenbahn-Verwaltungsgebäude	IV	7	1
Eislaufbahnen	IV	4	2
Elasticitäts- und Festigkeitslehre	I	1	2
Elektrische Beleuchtung	III	4	
Elektro-technische Institute	IV	6	2
Entbindungs-Anstalten	IV	5	2
Entwässerung der Dachflächen	III	2	5
Entwässerung der Gebäude	III	5	
Entwerfen der Gebäude	IV	1/8	
Entwürfe, Anfertigung der	I	5	
Erhellung der Räume mittels Sonnenlicht	III	3	1
Erholung. Gebäude für Erholungszwecke	IV	4	
Erker	III	2	2
Etrusker. Baukunst der Etrusker	II	2	
Exedren	IV	4	2
"	IV	9	
Exerzierhäuser	IV	7	2
Fabrik- und Gewerbewesen	IV	7	1
Fahnenstangen	III	2	5
Fahrradbahnen	IV	4	2
Fahrstühle	III	3	2
Fäkalstoffe-Entfernung aus den Gebäuden	III	5	
Fassadenbildung	IV	1	
Fenster	III	3	1
Fenster- und Thüröffnungen	III	2	1
Fernsprechdienst, Gebäude für	IV	2	3
Fernsprech-Einrichtungen	III	3	2
Festhallen	IV	4	1
Festigkeitslehre	I	1	2
Findelhäuser	IV	5	2
Fluranlagen	IV	1	
Formenlehre des Ornaments	I	3	
Freimaurer-Logen	IV	4	2
Freitreppen	III	6	
"	IV	9	
Fundamente	III	1	
Fussboden	III	3	2
Galerien und Passagen	IV	2	2
Garten-Architektur	IV	10	
Gartenhäuser	IV	4	2
"	IV	9	
Gasbeleuchtung	III	4	
Gasthöfe	IV	4	1
Gebär-Anstalten	IV	5	2

	Teil	Band	Heft
Gebäudebildung	IV	1	
Gebäudelehre	IV	1/8	
Gefängnisse	IV	7	1
Geflügelzüchtereien	IV	3	1
Gehöftanlagen, landwirtschaftliche	IV	3	1
Geländer	III	2	2
Gerichtshäuser	IV	7	1
Gerüste	I	5	
Gesandtschaftsgebäude	IV	7	1
Geschäftshäuser	IV	2	2
Geschichte der Baukunst	II		
Antike Baukunst	II	1/2	
Mittelalterliche Baukunst	II	3/4	
Baukunst der Renaissance	II	5/7	
Gesimse	III	2	2
Gestaltung der äusseren und inneren Architektur	IV	1	
Gestüte	IV	3	1
Getreidemagazine	IV	3	1
Gewächshäuser	IV	6	4
Gewerbeschulen	IV	6	1
Gewölbe. Statik der Gewölbe	I	1	2
Gewölbte Decken	III	2	3,b
Giebelspitzen der Dächer	III	2	5
Glas als Material des Ausbaues	I	1	1
Glockenstühle	III	6	
Gotische Baukunst	II	4	
Griechen. Baukunst der Griechen	II	1	
Gutshöfe	IV	3	1
Gymnasien	IV	6	1
Handel. Gebäude für die Zwecke des Handels	IV	2	2
Handelsschulen	IV	6	1
Heil-Anstalten	IV	5	
Heizung der Räume	III	4	
Herbergshäuser	IV	4	1
Herrensitze	IV	2	1
Hochbau-Konstruktionen	III	1/6	
Hochbaukunde, allgemeine	I	1/5	
Hochlicht	III	3	1
Hochschulen	IV	6	2
Hof-Anlagen	IV	1	
Hofflächen, Befestigung der	III	6	
Holz als Konstruktionsmaterial	I	1	1
Hospitäler	IV	5	1
Hotels	IV	4	1
Innerer Ausbau	III	3/6	
Innungshäuser	IV	4	2
Institute, wissenschaftliche	IV	6	2
Irren-Anstalten	IV	5	2
Islam. Baukunst des Islam	II	3	2
Isolier-Hospitäler (Absond.-Häuser)	IV	5	1
Justizpaläste	IV	7	1
Kadettenhäuser	IV	7	2
Kaffeehäuser	IV	4	1
Kasernen	IV	7	2
Kaufhäuser	IV	2	2
Kegelbahnen	IV	4	2

Zu beziehen durch die meisten Buchhandlungen.

HANDBUCH DER ARCHITEKTUR.

	Teil	Band	Heft
Keramik in der Baukunst	I	4	
Keramische Erzeugnisse	I	1	1
Kinder-Bewahranstalten	IV	5	2
Kinderhorte	IV	5	2
Kinderkrankenhäuser	IV	5	1
Kioske	IV	4	2
Kirchen	IV	8	1
Kirchenbau, romanischer u. gotischer	II	4	3
Kleinkinderschulen	IV	6	1
Kliniken, medizinische	IV	6	2
Klubhäuser	IV	4	2
Koch-Einrichtungen	III	5	
Komposition, architektonische	IV	1	
Konstruktions-Elemente	III	1	
Konstruktionsmaterialien	I	1	1
Konversationshäuser	IV	4	2
Konzerthäuser	IV	6	3
Kostenanschläge	I	5	
Krankenhäuser	IV	5	1
Kreisbehörden	IV	7	1
Kriegsbaukunst, romanische und got.	II	4	1
Kriegsschulen	IV	7	2
Krippen	IV	5	2
Küchenausgüsse	III	5	
Kühlanlagen	III	6	
Kunstakademien	IV	6	3
Kunstgewerbeschulen	IV	6	3
Künstler-Ateliers	IV	6	3
Kunstschulen	IV	6	3
Kunstvereins-Gebäude	IV	4	2
Kupfer als Baustoff	I	1	1
Kurhäuser	IV	4	2
Laboratorien	IV	6	2
Landhäuser	IV	2	1
Landwirtschaft. Gebäude für die Zwecke der Landwirtschaft	IV	3	1
Laufstege der Dächer	III	2	5
Lebensmittel-Versorgung. Gebäude für Lebensmittel-Versorgung	IV	3	2
Leichenhäuser	IV	5	1
Leichenschauhäuser	IV	7	1
Logen (Freimaurer)	IV	4	2
Lüftung der Räume	III	4	
Lungenheilstätten	IV	5	2
Luxuspferdeställe	IV	3	1
Mädchenschulen, höhere	IV	6	1
Märkte für Getreide, Lebensmittel, Pferde und Hornvieh	IV	3	2
Markthallen	IV	3	2
Marställe	IV	3	1
Materialien des Ausbaues	I	1	1
Mauern	III	2	1
Mechanisch-technische Laboratorien	IV	6	2
Medizin. Lehranstalt. d. Universität	IV	6	2
Messpaläste	IV	2	2
Metalle als Materialien des Ausbaues	I	1	1
Metalldächer	III	2	5
Militärbauten	IV	7	2

	Teil	Band	Heft
Militär-Hospitäler	IV	5	1
Ministerialgebäude	IV	7	1
Mittelalterliche Baukunst	II	3/4	
Mörtel als Konstruktionsmaterial	I	1	1
Museen	IV	6	4
Musikzelte	IV	4	2
Naturwissenschaftliche Institute	IV	6	2
Oberlicht	III	3	1
Observatorien	IV	6	2
Ornament. Formenlehre d. Ornaments	I	3	
Ortsbehörden	IV	7	1
Paläste	IV	2	1
Panoramen	IV	4	2
Parkanlagen	IV	6	8,9
Parlamentshäuser	IV	7	2
Passagen	IV	2	2
Pavillons	IV	4	2
„	IV	9	
Pensionate	IV	6	1
Pergolen	IV	4	2
„	IV	9	
Perrons	III	6	
Pferdeställe	IV	3	1
Pflanzenhäuser	IV	6	4
„	IV	9	
Pflanzungen, städtische	IV	8,9	
Pflegeanstalten	IV	5	2
Physikalische Institute	IV	6	2
Pissoirs	III	5	
Post-Gebäude	IV	2	3
Proportionen in der Architektur	IV	1	
Provinzbehörden	IV	7	1
Rampen, äussere	III	6	
Rampen, innere	IV	3	2
Rathäuser	IV	7	1
Raum-Architektur	IV	1	
Raumbegrenzende Konstruktionen	III	2	
Raumbildung	IV	1	
Rechtspflege. Gebäude f. Rechtspflege	IV	7	1
Reinigung der Gebäude	III	5	
Reitbahnen	IV	4	2
Reithäuser	IV	7	2
Renaissance. Baukunst der	II	5/7	
Renaissance in Italien	II	5	
Renaissance in Frankreich	II	6	
Renaissance in Deutschland, Holland, Belgien und Dänemark	II	7	
Rennbahnen	IV	4	2
Restaurants	IV	4	1
Rollschlittschuhbahnen	IV	4	2
Romanische Baukunst	II	4	
Römer. Baukunst der Römer	II	2	
Ruheplätze	IV	4	2
„	IV	9	
Saal-Anlagen	IV	1	
Saalbauten	IV	6	3
Sammlungen	IV	6	4
Sanatorien	IV	5	

Jedes Heft bildet ein für sich abgeschlossenes Ganzes und ist auch einzeln käuflich.

	Teil	Band	Heft
Schankstätten	IV	4	1
Schaufenstereinrichtungen	IV	2	2
Scheunen	IV	3	1
Schieferdächer	III	2	5
Schiesshäuser	IV	7	2
Schiessstätten	IV	4	2
Schlachthöfe	IV	3	2
Schlafhäuser	IV	4	1
Schlösser	IV	2	1
Schneefänge der Dächer	III	2	5
Schulbaracken	IV	6	1
Schulbauwesen	IV	6	1
Schulen	IV	6	1/2
Schützenhäuser	IV	4	2
Schwachsinnige, Gebäude für	IV	5	2
Schwimm-Anstalten	IV	5	3
Seitenlicht	III	3	1
Seminare	IV	6	1
Sicherungen gegen Einbruch, Feuer, Blitzschlag, Bodensenkungen und Erderschütterungen	III	6	
Siechenhäuser	IV	5	2
Sonnenlicht. Versorgung der Gebäude mit Sonnenlicht	III	3	1
Sonnenwärme. Versorgung der Gebäude mit Sonnenwärme	III	4	
Sparkassengebäude	IV	2	2
Speiseanstalten für Arbeiter	IV	4	1
Speisewirtschaften	IV	4	1
Sprachrohre	III	3	2
Spül-Einrichtungen	III	5	
Stadthäuser	IV	7	1
Städtebau	IV	9	
Ställe	IV	3	1
Ständehäuser	IV	7	2
Statik der Hochbau-Konstruktionen	I	1	2
Stein als Konstruktionsmaterial	I	1	1
Sternwarten	IV	6	2
Stibadien	IV	4	2
"	IV	9	
Straf-Anstalten	IV	7	1
Stützen. Statik der Stützen	I	1	2
Stützmauern	III	6	
Synagogen	IV	8	1
Taubstummen-Anstalten	IV	5	2
Technische Fachschulen	IV	6	1
Technische Hochschulen	IV	6	2
Telegraphen. Haus- u. Zimmertelegr.	III	3	2
Telegraphen-Gebäude	IV	2	3
Tempel. Griechischer Tempel	II	1	
" Römischer Tempel	II	2	
Terrassen	III	6	
"	IV	9	
Theatergebäude	IV	6	5
Thonerzeugnisse als Konstruktionsmaterialien	I	1	1
Thorwege	IV	1	
Thür- und Fensteröffnungen	III	2	1

	Teil	Band	Heft
Thüren und Thore	III	3	1
Tierhäuser	IV	3	1
"	IV	9	
Träger. Statik der Träger	I	1	2
Treppen	III	3	2
Treppen-Anlagen	IV	1	
Trinkhallen	IV	4	2
Turmkreuze	III	2	5
Turnanstalten	IV	6	1
Universitäten	IV	6	2
Veranden	IV	4	2
Veranschlagung	I	5	
Verdingung der Bauarbeiten	I	5	
Vereine. Gebäude für Vereinszwecke	IV	4	
Vereins-Häuser	IV	4	2
Vergnügungsstätten, öffentliche	IV	4	1
Verkehr. Anlagen zur Vermittlung des Verkehrs in den Gebäuden	III	3	2
Gebäude für Zwecke des Verkehrs	IV	2	2
Verkehrswesen	IV	7	1
Versicherungswesen	IV	7	1
Versorgungshäuser	IV	5	2
Verwaltung. Gebäude f. Verwaltung	IV	7	1
Vestibül-Anlagen	IV	1	
Viehmärkte	IV	3	2
Villen	IV	2	1
Volksbelustigungsgärten	IV	4	1
Volks-Kaffeehäuser	IV	4	1
Volksküchen	IV	4	1
Volksschulen	IV	6	1
Vordächer	III	6	
Vorhallen	IV	1	
Vorräume	IV	1	
Wachgebäude	IV	7	2
Wagenremisen	IV	3	1
Waisenhäuser	IV	5	2
Wandelbahnen und Kolonnaden	IV	4	2
Wände und Wandöffnungen	III	2	1
Wandflächen, Ausbildung der	III	3	3
Wandverschlüsse, bewegliche	III	3	1
Warenhäuser	IV	2	2
Wärmeinrichtungen	III	5	
Wärmstuben	IV	5	2
Wasch-Anstalten	IV	5	4
Wasch-Einrichtungen	III	5	
Waschtisch-Einrichtungen	III	5	
Wasserkünste	IV	9	
Wasserversorgung der Gebäude	III	4	
Windfahnen	III	2	5
Wirtschaften	IV	4	1
Wohlfahrts-Anstalten	IV	5	
Wohnbau, romanischer und gotischer	II	4	2
Wohnhäuser	IV	2	1
Zenithlicht	III	3	1
Ziegeldächer	III	2	5
Zink als Baustoff	I	1	1
Zufluchtshäuser	IV	5	2
Zwangs-Arbeitshäuser	IV	7	1